
ELECTRONICA
RECREATIVA
E. SEDOV

Introducción

¿A qué se ha destinado este libro? ¿A la radio? ¿A la localización? ¿A la televisión? ¿Al láser? ¿A las máquinas calculadoras electrónicas?

Sobre cada una de las materias señaladas se podría escribir un libro por separado. Más aún, tales libros ya han sido escritos. Entre ellos los hay para especialistas y de divulgación, voluminosos y pequeños, para alumnos de primaria y estudiantes, para ingenieros y científicos, en fin, para cualquier nivel de conocimientos y para todos los gustos. Además de la localización, la televisión, la radiocomunicación y la técnica de cálculo, los aparatos creados por la electrónica prestan servicios en otros campos de la técnica. Es el caso, digamos por ejemplo, del mundo y la medición a distancia, el estudio de las moléculas, átomos y núcleos, de la radioastronomía, de los métodos más modernos investigación en la biología y en la medicina, de la tecnología electrónica de elaboración de los metales y de la transformación de la energía térmica en eléctrica con ayuda de semiconductores.

Todo esto es la electrónica, porque todos los campos de la técnica tienen necesidad de aparatos electrónicos en los cuales actúa el ligero, infatigable y siempre dispuesto a ser útil, el "eterno trabajador" llamado electrón.

¿Es posible entonces exponer todo esto en un solo libro sobre la electrónica? Y además, en forma tal que el lector no sólo vea que todo esto existe en el mundo (cosa que el seguramente, y sin ayuda de nuestro libro, hace tiempo que conoce), sino que pueda comprender los principios de la estructura y funcionamiento de distintos aparatos electrónicos, aclarar la esencia en que se basan sus métodos e ideas.

Debemos reconocer que escribir un libro sobre la electrónica que abarcase todos aquellos campos de la técnica en los que ésta ya echó sus profundas raíces, no fue una tarea fácil.

Fue necesario seleccionar solamente aquellos campos de aplicación, fenómenos y procesos sin los cuales hubiera sido imposible lograr un verdadero adelanto. La descripción sobre el comportamiento de los electrones fue necesario traducirla del

idioma de las ecuaciones, diagramas y fórmulas a un idioma comprensible para todos.

No obstante, a pesar de las divergencias entre el autor y el redactor, en nuestro libro han sido expuestas ciertas fórmulas y curvas seleccionadas de algunos trabajos monográficos, así como de trabajos especiales. Por supuesto, fueron tomadas todas las medidas para hacerlas asimilables. Por este motivo, surgió la necesidad de introducirse en profundos razonamientos y meditaciones, o apelar a la búsqueda de analogías y ejemplos de la vida. Pero todo esto sirve como una endeble justificación ante los ojos de aquellos lectores que preferirían comprender la electrónica sin necesidad de ecuaciones ni curvas.

¿Pero no será demasiado aproximada esta representación? Precisamente las curvas y ecuaciones son el lenguaje singular de la electrónica y es poco recomendable pasarlo por alto.

Hace tiempo fue establecido que no es posible estudiar las costumbres, el carácter y la cultura de cualquier pueblo, desconociendo su idioma.

La estructura del libro es insólita. Las ideas imprescindibles para la comprensión de la esencia de la electrónica, se exponen con ayuda de dibujos y texto bajo la rúbrica general: "Esto sirve de base". Estas partes se alternan con unos breves resúmenes en los que se describen como nacieron las ideas, los elementos, los aparatos, de que se derivan y a que conducen. Nosotros suponemos que esta disposición de las distintas partes del libro ayudará al lector que se adentra por primera vez en el mundo de la electrónica a, por una parte, asimilar, sin esfuerzos, cual es su base, y por otra, a obtener una idea completa en lo que se refiere a la electrónica como campo independiente de la ciencia y la técnica modernas. Este campo posee su lógica interna, en cuyo núcleo van entrelazados una multitud de aplicaciones, métodos e ideas.

La propia denominación "electrónica" verdaderamente dice mucho: el electrón es el órgano vital de los aparatos electrónicos. Precisamente por él comenzaremos nuestro libro.

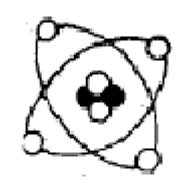
Capítulo 1
Los electrones y la electrónica

En este capítulo el lector conocerá la historia del descubrimiento del electrón, y al mismo tiempo comprenderá por qué precisamente esta partícula tuvo el destino de ser la "pieza" principal de ciertos aparatos electrónicos, que dieron el primer impulso al desarrollo de la electrónica.

Contenido:

El electrón al separarse del átomo, adquiere su libertad

§ 1.1.



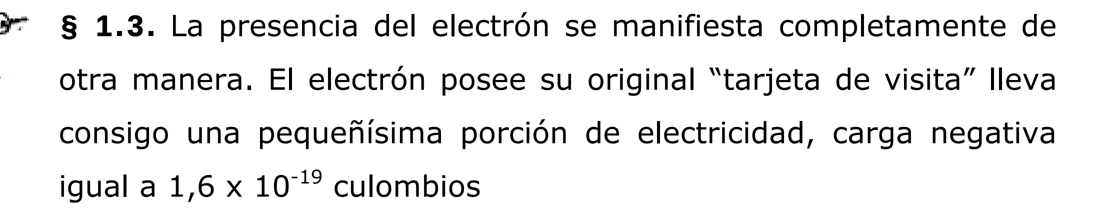
La base del enorme "edificio" de la electrónica, erigido por la técnica y la ciencia contemporánea, se considera que es y lo fundamenta esa pequeña partícula, llamada electrón.

Al lector, evidentemente, le es conocido que los átomos de todas las materias contienen, en su composición, electrones, los cuales giran alrededor del núcleo por determinadas órbitas.

Los electrones son tan ágiles, que durante cada segundo les da tiempo a repetir el recorrido alrededor del núcleo del átomo hasta quinientos trillones de veces.

§ 1.2. Nadie y nunca ha visto un electrón. Su radio es 400.000.000.000 veces menor de un milímetro. El microscopio más moderno, conocido hasta el momento por nosotros, no permite ver tales partículas.

La masa de un electrón es 1.000.000.000.000.000.000.000.000.000 (10^{-27}) veces menor, que la masa de un gramo. Es de comprenderse pues, que semejantes partículas no se pueden pesar en ninguna báscula.

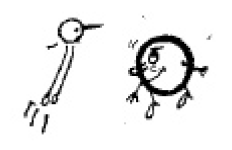


§ 1.3. La presencia del electrón se manifiesta completamente de otra manera. El electrón posee su original "tarjeta de visita" lleva consigo una pequeñísima porción de electricidad, carga negativa igual a $1{,}6 \times 10^{-19}$ culombios

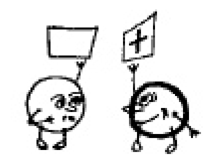


§ 1.4. La composición de cada átomo, además de los electrones, la forman los protones y neutrones.

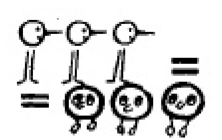
Estas partículas están fuertemente "pegadas" y "cementadas" entre sí mediante poderosos campos nucleares y forman el núcleo atómico monolítico.



§ 1.5. El protón y el neutrón si se les compara con el electrón, aparentan ser verdaderos gigantes: la masa de cada uno de ellos es aproximadamente 1840 veces mayor que la masa de un electrón.



§ 1.6. El neutrón no lleva consigo ninguna clase de carga y eléctricamente es neutro. De ahí su nombre: neutrón. La carga de un protón, por su magnitud, es igual a la carga de un electrón (1,6 x 10^{-19} culombios), pero de signo positivo.



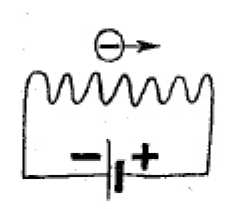
§ 1.7. El átomo en su conjunto también es neutro porque la cantidad de electrones en un átomo corresponde a la cantidad de protones que se encuentran en su núcleo.

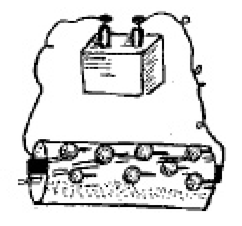
El electrón que gira por una de las órbitas del átomo se denomina electrón ligado.



§ 1.8. Es frecuente que los electrones; por la influencia de las fuerzas externas adquieran su libertad; entonces ellos se separan de sus átomos, escapándose de sus orbitas exteriores. El átomo, al perder su electrón deja de ser neutro, convirtiéndose en un ión de carga positiva.

§ 1.9. La carga negativa de los electrones les obliga a moverse hacia la placa metálica, conectada al polo positivo de la fuente de electricidad (tensión).





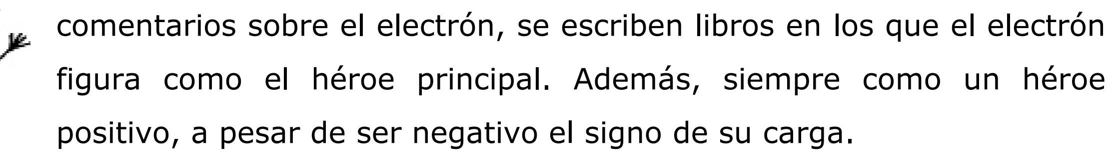
¿Por qué el electrón?

¿Cómo fue posible, que la partícula de materia con una masa

1.000.000.000.000.000.000.000.000.000

veces menor que la masa de una pesa de un gramo adquiriera en la actualidad tal considerable peso?

Hace poco más de un siglo, nadie tenía conocimientos acerca del electrón y, sin embargo, hoy día sería difícil encontrar una persona que aunque sea tan sólo de oídas, no hubiera tenido referencias sobre él. Todos con un gran respeto hacen



comentarios sobre el electrón, se escriben libros en los que el electrón figura como el héroe principal. Además, siempre como un héroe positivo, a pesar de ser negativo el signo de su carga.

Y todo es debido a que el electrón se convirtió en la "pieza" principal de los aparatos electrónicos que desempeñan un papel extraordinariamente importante en todos los campos de la vida, ciencia y técnica.

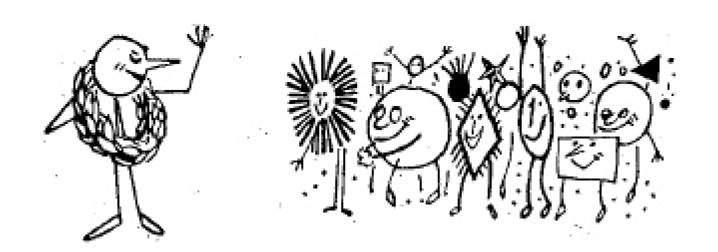
Esta "pieza" resultó muy oportuna, por ser en primer lugar, ligera y móvil: todavía mucho tiempo antes del comienzo de la "era cósmica" los físicos, al investigar el movimiento de los electrones en un tubo, los impulsaban hasta obtener velocidades verdaderamente cósmicas.

En segundo lugar, esta "pieza" ignora el desgaste; todavía nadie ha podido destruir, "romper" el electrón.

En tercer lugar, esta "pieza" en general no escasea; pues hasta que no se agote la energía de la fuente de corriente, esta última seguirá enviando por un "transportador" (un conductor) un flujo de estas "piezas". Estas serán tantas cuantas pidan todos los "talleres" y "secciones" de una "producción" complicada, es decir, todos los elementos y conjuntos que entran en la constitución de un transmisor, receptor u otro cualquier aparato electrónico.

Esta "pieza" funciona perfectamente en diferentes condiciones: en el vacío (tubos y lámparas electrónicas), en los gases (lámparas de descarga) e incluso en medios sólidos (semiconductores).

No hay duda, el electrón resultó muy cómodo. Pero ¿por qué a pesar de todo le pertenece precisamente a él tan importante papel en la técnica moderna? Es sabido que a continuación de él, fueron descubiertos los protones, neutrones, fotones, mesones a hiperones, toda una numerosa familia de las llamadas partículas elementales.



Entonces, ¿por que pues existe la electrónica, y hasta ahora no se creó la protónica? ¿Por qué no existe la neutrónica o la mesónica? ¿Es posible que sólo porque el electrón fue descubierto el primero? ¿O este problema esta relacionado con ciertas capacidades exclusivas, las cuales no las poseen otras partículas?

¿Por qué no existe la protónica?

Tómese, por ejemplo, una partícula tal como el neutrón. ¿Qué es lo que representa? En primer lugar, esta partícula no tiene carga. En segundo lugar, su masa supera a la del electrón en más de 1840 veces. Dado que el neutrón no tiene carga, a la acción de un campo eléctrico exterior es indiferente, neutral. Si así es, por lo tanto, el neutrón no puede ser gobernado con ayuda de un campo eléctrico. El electrón es otro asunto. Cargado negativamente, él siempre tiende hacia la placa de potencial positivo (véase 1.9). Cambiando el potencial, es posible dirigir los electrones: acelerar y retrasar su movimiento, cambiar su dirección, aumentar y disminuir su flujo.

Pero, existen otras partículas, los protones, que tampoco son indiferentes a la acción del campo eléctrico, por cuanto llevan consigo una porción de carga positiva. ¿Por qué entonces, en este caso, en lugar de aparatos electrónicos no se utilizan aparatos protónicos?

El protón posee una masa 1840 veces mayor que la del electrón. Imagínense por ejemplo, la habitual bala de cañón y, al lado otra bala, cuyo peso es 1840 veces mayor. Si el peso de la primera lo consideramos igual a 30 kilogramos, entonces resulta que la segunda sería más pesada que diez naves cósmicas.

Los pesados y torpes protones nunca podrán competir con los ágiles electrones; los bombarderos pesados nunca podrán ser tan maniobrables como los ligeros aviones de caza. Todos los pilotos saben que cuanto menor es la masa de la máquina, tanto menor es su inercia. Apenas se viran los volantes de

maniobra y el avión de caza cambia bruscamente su curso. Pero, incluso teniendo la mayor capacidad de maniobra siempre se debe tener en cuenta la inercia, de lo contrario, cualquier avión de caza volará por inercia cerca del objetivo necesario sin alcanzarlo.

Volviendo a nuestro tema, digamos, que el electrón posee una masa y una inercia insignificantes en comparación con la del protón y el neutrón. Por consiguiente, mediante las fuerzas externas, se puede instantáneamente comunicarle una determinada aceleración y obligarle a ejecutar un complicado “viraje”. Al aplicar el voltaje el electrón adquiere al instante una velocidad enorme. Se cambió el signo de la tensión y el electrón (a toda marcha) vuela hacia atrás.

Esta propiedad es, quizás, una de las más importantes. Sin ella hubiera sido imposible “dibujar” una imagen en la telepantalla 25 veces por segundo; crear una frecuencia de oscilaciones con la cual la corriente en el circuito en el transcurso de un segundo logra modificar su magnitud y dirección hasta 10 mil millones de veces; dirigir un cohete a enorme velocidad y, en el transcurso de una hora, realizar en las máquinas electrónicas tales cálculos, en los cuales el hombre llegaría a invertir varios años.

Algo sobre la fotónica

Además del electrón, el protón y el neutrón, la física moderna conoce ya cerca de 200 variedades de partículas elementales.

¿Será posible que entre ellas no existan algunas tan ligeras, móviles y accesibles como el electrón? Naturalmente que existen, por ejemplo, el fotón.

Si se habla de movilidad, entonces esta partícula, por lo general, no conoce el reposo, ella existe solamente en movimiento. Y, en reposo, desaparece. Los científicos dicen, que la masa en reposo del fotón es nula. Esta partícula puede ser obtenida en forma pura más fácilmente que el electrón. Se ha establecido por la Física, que cualquier luz visible esta compuesta por fotones. Y no resulta casual que en los últimos años precisamente esta partícula compite con éxito con el electrón en toda una serie de campos de la técnica.

Si, hasta hace poco tiempo, tales ramas de la técnica, como la radiocomunicación o la localización, fueron un monopolio de la electrónica, actualmente ha surgido una

nueva rama que puede denominarse, con igual derecho, fotónica. Se trata de osciladores cuánticos (de los así denominados láseres) los cuales se están elaborando acentuadamente en los últimos años. Claro está que aquí también se requiere la solución de problemas complejos. Los fotones no tienen carga y por esto no pueden ser dirigidos por el campo eléctrico; y es mucho más difícil que a los electrones obligarlos a realizar una oscilación con una frecuencia determinada. Pero estas dificultades se logran superar y pronto junto con la radiocomunicación electrónica, comenzará a introducirse la fotónica.

¿Es posible que después de esto pierda el valor la electrónica? No, la técnica del fotón no pondrá fin a la electrónica. En primer lugar, además de la radiocomunicación, la electrónica tiene otras tareas. En segundo lugar, sin la electrónica no se pueden crear ninguna clase de aparatos fotónicos. Los fotones se crean por los electrones: cuando un electrón en el átomo cambia su posición, digamos, salta desde una orbita lejana del núcleo a una más cercana, el átomo irradia un fotón.

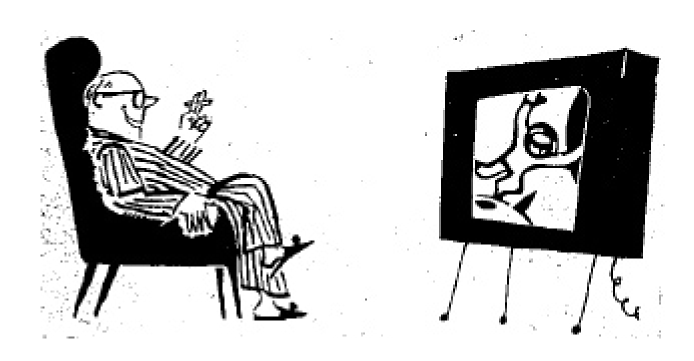
Pero, sobre esto debemos hablar separadamente. De momento señalemos lo siguiente: el electrón no lucha por ser exclusivo, y cuando surge la necesidad de salir de los marcos de sus posibilidades, él regala con alegría al mundo, el fotón.

Y es de preguntarse; ¿se desarrollarán junto a la fotónica y la electrónica otros campos de la técnica que utilicen las propiedades de algunas otras partículas? Quien sabe. Ya existen hipótesis sobre la posibilidad de comunicaciones a base de ondas neutrinas u ondas de gravitación. Pero tales ondas aún no han sido investigadas por la ciencia. Por esto, todos los medios modernos de radiocomunicación están basados en la interacción de los electrones y en las ondas electromagnéticas.

¿Y quién pudo verlo?

Nosotros llamamos milagro a lo que no se puede explicar. Los milagros son obra creadora del espíritu, de los magos, de los dioses. La electrónica la creó el hombre. Él dominó el electrón, conoció sus propiedades, le obligó a resolver una infinidad de diferentes problemas. Al construir un aparato electrónico, el ingeniero razona respecto al electrón: el se comportara de esta o tal forma, hará esto y aquello, correrá hacia allí o hacia aquí.

Bien, ¿y quién pudo ver como se realiza todo esto? Ciertamente, nadie. En el mejor de los casos es posible ver la traza del rayo en la pantalla o medir la suma de las cargas de todos los electrones que pasan en el transcurso de un segundo por el conductor, o sea, la corriente eléctrica. La corriente y el haz son flujos de electrones, una masa enorme de partículas que se mueven. Pero un electrón constituye una partícula demasiado pequeña, lo cual impide que se le pueda ver a ningún microscopio.



Todos hemos visto un televisor por su parte exterior. Pero cualquier persona curiosa obligatoriamente será atraída por su interior. Bueno, ¿y qué? Nada especialmente interesante. Muchas piezas diferentes y una red compleja de conductores. Lámparas que brillan débilmente y... ningún movimiento. Un imperio muerto. Vive solamente la pantalla.

¿Cómo se originan las imágenes móviles en las piezas y conductores inmóviles? ¿Quién sustituye a los actores vivos en los espectáculos, como se representa en la telepantalla un encuentro deportivo tenso? El papel principal lo desempeña aquí el electrón.

Mientras en la pantalla acciona un acto, en todos los elementos que se encuentran dentro del televisor, corre una "vida oculta", invisible, pero intensa. El ingeniero la estudió muy cuidadosamente. Él puede responder sobre cuántos electrones pasan exactamente a través de cada conductor en el transcurso de cada segundo y como ellos se comportaran en cada eslabón. A pesar que él tampoco vio al electrón con sus ojos.

A primera vista, todo esto aparenta casi como un milagro. El electrón comenzó a desempeñar todo género de papeles. Él sustituye a los actores en los tele-

espectáculos y presenta al cantante detrás de la escena, obligando al altavoz del receptor a reproducir el sonido. Él dirige el cohete, el torno, el avión, realiza cálculos complejos y traducciones, elabora los metales, hace posible estudiar la micro estructura de las sustancias.

Nadie lo ha visto trabajando, él es como el gnomo invisible de los cuentos nuevos y nuevos milagros. Pero, el conocimiento y el poder imaginativo de los investigadores permiten establecer, con todos sus detalles, como se comportan los ágiles electrones en los diferentes equipos creados por el hombre.

Pretendiendo subrayar esta particularidad de la electrónica, el conocido escritor de ciencia-ficción norteamericano Arthur Clark describió el siguiente episodio fantástico.

Imagínense que a los eminentes pensadores del pasado, digamos, Newton y Leonardo de Vinci, les dieran para un estudio la lámpara electrónica y el automóvil moderno.



Por el aspecto exterior del automóvil ellos, evidentemente sacarían ciertas conclusiones sobre su destino y estructura. Pero sobre el diodo y el tríodo no podrían decir nada. ¡Absolutamente nada! Porque el aspecto externo de la lámpara electrónica, o parte de sus piezas, no da ni la más mínima idea respecto a los procesos electrónicos, que en ella trascurren. Ni Newton, ni Leonardo de Vinci, con toda la riqueza de su fantasía científica, no podrían imaginarse ni el electrón, ni su papel y comportamiento en el interior de estos equipos completamente incomprensibles para ellos.

Fueron necesarias cientos de conjeturas geniales y muchos miles de experimentos, realizados por los científicos en los siglos posteriores, para que la ciencia hubiera

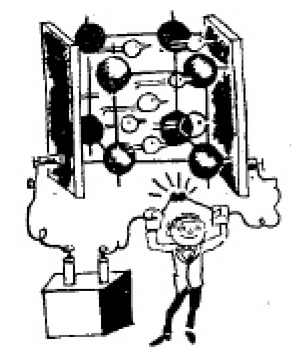
podido crear una idea exacta acerca de los procesos invisibles, en los que participa el electrón. Pero, ¿cómo es en sí el electrón? ¿Cómo es su estructura? ¿Es compacto o hueco? ¿Homogéneo o compuesto de algunas partes?

Al respecto, todavía nada se conoce. Hoy día el electrón se considera como un "umbral", el cual la ciencia, mientras tanto, no ha podido franquear. Pero, ¿lo franqueará?

¡Lo franqueará! De la misma forma que de la molécula pudo pasar al átomo, y del átomo al estudio de partículas más pequeñas. La materia en manos de la ciencia, es lo mismo que la "muñeca" en manos de un niño curioso: hay deseo de investigar más y más esa ciencia para saber que hay allí dentro.

La molécula, el átomo, el núcleo, el protón, el neutrón, el electrón... Un proceso sin límites de conocimientos, y la materia infinita, no sólo en su ancho sino también en su profundidad. En la naturaleza, probablemente, no existe el electrón único, sino que existe un enjambre de ondas o un sistema de ciertas partículas, todavía más pequeñas. Y, de pronto, en un momento oportuno el electrón, como tal, desaparece de la ciencia... ¡Esto sería espectacular!

¿Pero qué pasará entonces con la electrónica? ¡Ciertamente, nada! Esto no se reflejará en ella. He aquí algo realmente maravilloso: no hay electrones, pero existe la electrónica. Mas, sin embargo, no hay nada aquí particularmente extraño. Los aparatos, creados mediante la electrónica, servirán como antes al hombre, y al fin y al cabo, no es de tal importancia que esto constituye el detalle principal, el enjambre de ondas, la partícula homogénea compacta o el sistema de partículas fusionadas. Lo principal es que nuestras ideas no tengan discrepancias con los datos de los experimentos y que cada nuevo éxito en la electrónica, sea una confirmación experimental de la justeza de las ideas que forman su fundamento. Mientras tanto, dejemos que sea la partícula, que de todas las maneras no ha sido vista por nadie.



Todo el enorme "edificio" de la electrónica fue construido especulativamente, gracias a los esfuerzos de los numerosos cerebros inventivos e indagadores. Comenzando desde el momento en que se descubrió el electrón, cuando el físico

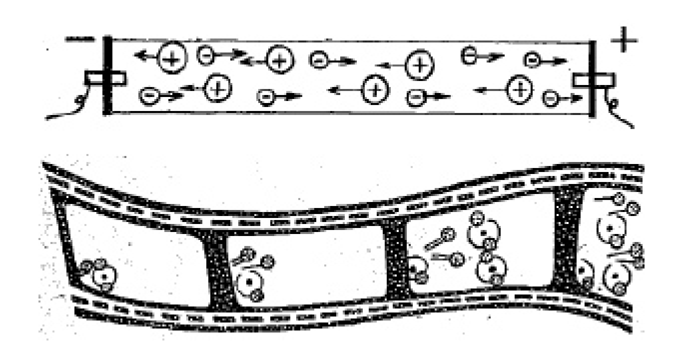
Helmholtz no lo palpó, no lo percibió con el oído, no lo vio, sino que adivinó, que en la electrólisis debe participar el electrón.

La corriente puede aparecer no sólo en el metal, sino también en el gas, en el líquido y en el vacío

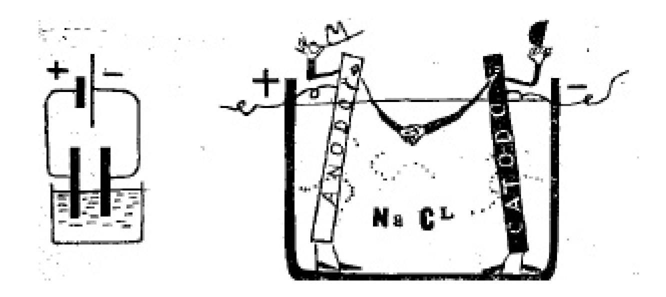
§ 1.10. Los átomos del metal forman un retículo cristalino y, en el espacio entre los nudos del retículo se mueven caóticamente los electrones libres de una parte a otra sin finalidad alguna.

§ 1.11. Basta conectar una placa metálica a los dos polos de una fuente de voltaje para que los electrones adquieran un objetivo. Ellos se precipitarán hacia el polo positivo de la batería y en el metal se creará corriente eléctrica.

§ 1.12. La corriente eléctrica puede surgir en los gases. Bajo la acción del voltaje en el interior del tubo se origina la ionización del gas: los electrones libres se precipitan a la placa de potencial positivo y, por el camino, haciendo impacto con los átomos, arrancan los electrones de sus órbitas. Los iones positivos (los átomos que perdieron sus electrones) se dirigen al extremo opuesto del tubo. La luminiscencia característica del gas en el tubo es testimonio que en su interior se mueven los iones y electrones uno al encuentro del otro, es decir, circula corriente eléctrica.



§ 1.13. Para crear corriente eléctrica en un líquido (por ejemplo, en una solución de sal común), es necesario introducir en este líquido, dos varillas metálicas y conectarlas a la fuente de voltaje.

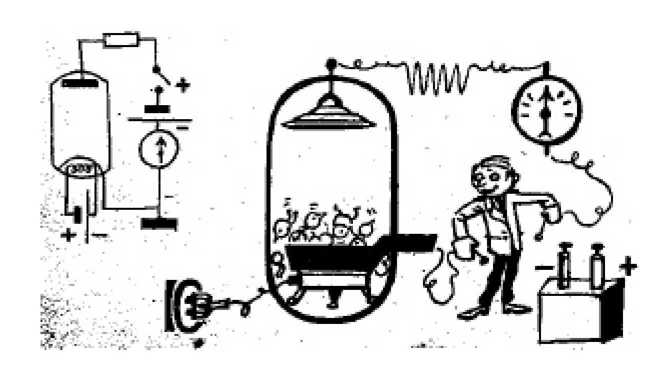


Las varillas en este caso servirán de electrodo: aquel que se conectó al polo "más" de la fuente, cumplirá el servicio de ánodo y el conectado al "menos", se convertirá en cátodo.

§ 1.14. En los tubos electrónicos los electrones se mueven en el vacío. Como ejemplo de tal dispositivo puede servir el diodo.

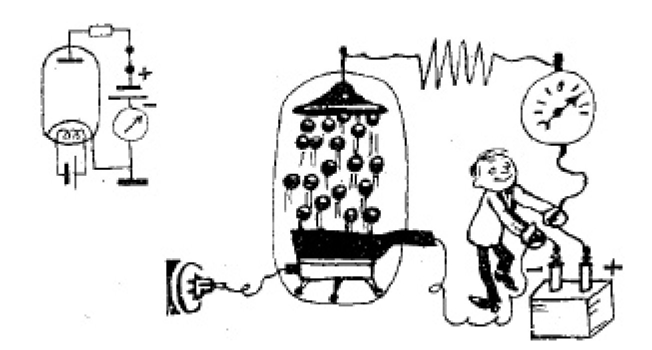
En el diodo, en la parte interna de la ampolla, se encuentran dos piezas fundamentales que también se denominan ánodo y cátodo.

Cerca del cátodo está situado el filamento incandescente -una estufilla en miniatura-, la cual calienta el cátodo. Además, "el líquido electrónico", compuesto de electrones que se mueven caóticamente en el propio cuerpo del cátodo, entre sus átomos, comienza a "hervir". A este fenómeno se le llama emisión electrónica.



Como resultado de la emisión, alrededor del cátodo aparece una nube de "gas electrónico".

§ 1.15. Si ahora conectamos el cátodo al polo "menos" de la fuente de voltaje, y el ánodo al "más" este último comenzará a atraer hacia sí los electrones de la nube, "a aspirarlos" del cátodo, en el interior del diodo circulará corriente.



La libertad que el electrón recibe fue para poco tiempo: tan solo apenas se separó del cátodo, en el acto fue atraído por el ánodo.

§ 1.16. Frecuentemente el diodo se emplea en los esquemas, en calidad de "válvula".

En los dibujos § 1.15 la "válvula" se encuentra abierta. Para cerrarla, es necesario cambiar los polos de la fuente: al ánodo se conecta el "menos" y al cátodo el "más".

Ahora a los electrones les será más difícil escaparse fuera de los límites del cátodo, debido a que este los está atrayendo. Pero incluso aquellos que ya se escaparon, no tienen a donde desplazarse; anteriormente los atrapa el ánodo, y ahora este los empuja hacia atrás, al cátodo.

Conectando de esta manera a través del diodo no circulará corriente. La "válvula" cierra el circuito eléctrico, en el cual va conectado este tubo.

Un viaje por el baño

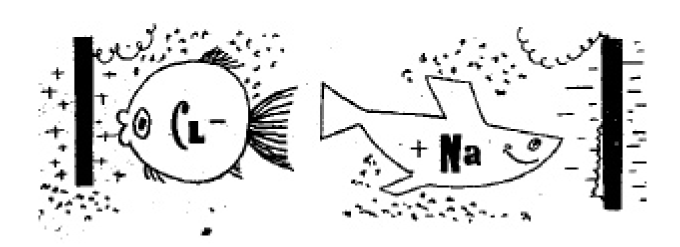
La electrólisis es conocida por cada escolar. Si en un baño cargado de una solución de sal común se introducen dos varillas metálicas y se conectan a distintos polos de una batería eléctrica, a través de la solución y por el conductor exterior circulará corriente eléctrica (véase § 1.13).

De la solución de sal común, en una de las varillas se precipitará sodio puro, y en la otra, cloro gaseoso. El sodio se precipitará en el cátodo, es decir, en la varilla conectada al polo negativo de la batería. Las burbujas de cloro gaseoso rodearán a la segunda varilla, que es el ánodo.

Por el momento se trata de cosas visibles y perceptibles. Las varillas se pueden tocar con la mano. La solución de sal permite someterla a un análisis. En el cátodo se pueden percibir las huellas de sodio puro y observar la ebullición del cloro gaseoso en el ánodo. Pero, ¿por qué tuvo lugar todo esto? ¿Por qué bajo la acción de la corriente el líquido inesperadamente se convierte en gases y materia sólida? El cloro se dirigía hacia el ánodo, y el sodio se precipitaba en el cátodo ¿y por qué no al contrario?

Es aquí verdaderamente cuando debemos abandonar el mundo palpable y realizar un "viaje" fantástico, siguiendo los pasos de los científicos, a otro mundo invisible. ¿Qué clase de transporte nos podría llevar a ese otro mundo? Se sobre entiende que sería insólito. Hablando en el idioma de los poetas, nosotros volaremos hacia allá con alas de fantasía; pues los electrones no se pueden ver, y solamente es posible imaginárselos. Sin embargo, haciéndonos una idea del papel que desempeñan los electrones en este proceso, nosotros podríamos comprender todo su mecanismo interior.

¿Qué es lo que sucede aquí? A aquellos, que conozcan la estructura del átomo, les será muy fácil comprender el proceso de la electrólisis. El hecho está en que los átomos de sodio entregan con buena voluntad el único electrón que se encuentra en su órbita exterior.



El átomo, al librarse del electrón, deja de ser neutral; el número de electrones, por consiguiente, es menor que la cantidad de protones en el núcleo. Ahora es de carga positiva y por lo tanto ya no se trata de un átomo corriente, sino que es un átomo viajero. Al viajero en griego le llaman "ión". Y a un viajero no le gusta la tranquilidad durante largo tiempo. Si cerca se encuentra una placa conectada al polo "menos", el viajero se pone en camino.

Los átomos de cloro, al contrario, de buena gana adquieren electrones. Su capa externa contiene solamente siete electrones. Cuando el número de electrones en la órbita exterior de los átomos es de ocho, estos constituyen un “conjunto completo".

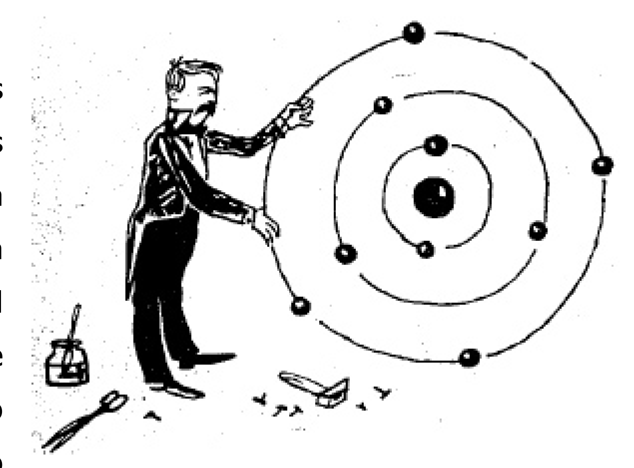
Existe la Ley natural universal; si a un átomo, en su órbita exterior, le falta uno o varios electrones, él siempre procurará completarlos del exterior hasta conseguir su “conjunto completo".

Por esta causa el átomo de cloro, supeditado a esta Ley, le quita al átomo de sodio el octavo electrón que a él le faltaba.

Tomando el octavo electrón, en lugar de la “plaza de turismo”, el átomo de cloro adquiere una porción de carga negativa y también se convierte en un ion, -la ruta de su viaje irá dirigida a donde se encuentre el electrodo positivo. Consiguiendo el objetivo de su larga ruta (es decir, el ánodo), el ion entrega la “plaza” adquirida, es decir, su octavo electrón.

El electrón correrá por el conductor exterior, y debido a que al ánodo siguen llegando nuevos y nuevos “turistas con plazas”, por el conductor seguirán ininterrumpidamente corriendo los electrones, circula la corriente eléctrica. En el interior del baño la corriente tiene otra naturaleza: aquí, los “viajeros” se mueven continuamente unos al encuentro de los otros, los iones negativos del cloro tienden hacia el ánodo, los iones positivos del sodio se apresuran a llegar al cátodo. Al alcanzar el cátodo, los iones del sodio le quitan a este los electrones que les faltan, y convirtiéndose en átomos neutrales de sodio puro, recubren al cátodo.

Una porción de electricidad



No es difícil razonar sobre los electrones en las capas del átomo, para quien los tiene por conocido. Pero, ¿cómo fue la situación de Helmholtz? Pues el estudio la electrólisis en aquel tiempo, cuando el átomo aún se consideraba realmente átomo-un pequeñísimo e indivisible trocito de la materia. (La palabra griega átomo significa “indivisible”).

Nadie tenía noción referente a los electrones. Por el peso de sodio desprendido se pudo conocer cuantos átomos de sodio llegaron al cátodo. Midiendo la corriente que circula por el conductor externo, se determinó la carga que estos átomos trasladaron. Se estableció que por una misma cantidad de átomos de sodio siempre se traslada una misma carga. Pero, si en el baño en lugar de sal de cocina se disuelve, por ejemplo, cloruro de calcio, entonces por la misma cantidad de átomos de calcio será trasladada una carga dos veces mayor.

He aquí, en realidad, todos los datos que poseía Helmholtz en aquel tiempo. Pero estos resultaron suficientes para una genial conjetura; en la naturaleza existe una porción mínima de electricidad, el original átomo eléctrico. Cada ion de sodio lleva una porción de electricidad, cada ion de calcio dos. Ni uno y medio, ni 1,75, sino exactamente dos, dos "átomos eléctricos".

Helmholtz, claro está, ni sospechaba que él logró penetrar por primera vez con la vista mental dentro de ese mismo átomo que hasta entonces era indivisible. En efecto, la porción de electricidad es precisamente el electrón. En la órbita exterior del átomo de calcio no gira uno, como en el sodio, sino dos electrones. Al entregar estos dos electrones a dos átomos de cloro, él se convierte en un ion portador de una doble porción. Por eso resulta, que la misma cantidad de átomos de calcio traslada una carga dos veces mayor.

Todo esto se puso de relieve posteriormente, después que Rutherford creó el modelo del átomo planetario, en el cual el núcleo sustituye al Sol y los electrones giran en las órbitas a semejanza de nuestros planetas (véase § 1.1).



Pero, precisamente, la porción de electricidad, revelada por Helmholtz, condujo a la ciencia a estos descubrimientos, le permitió dar el primer paso y, quizás, el más decisivo.

El cosmos en una ampolla de vidrio

La idea de Helmholtz dio lugar a muchas interrogantes. ¿Qué es la porción de electricidad? ¿Con qué se transporta? ¿Qué representa en sí? ¿De qué está compuesta?

Los experimentos realizados poco tiempo después del descubrimiento de Helmholtz confirmaban que en todos los fenómenos relacionados con la electricidad,

participan, en efecto, pequeñísimas cargas eléctricas negativas: se les dio el nombre de electrones. Pero, ¿Qué es lo que representan en sí, sin embargo, los electrones? ¿Una porción inmaterial de electricidad o un pedacito de cierta sustancia?

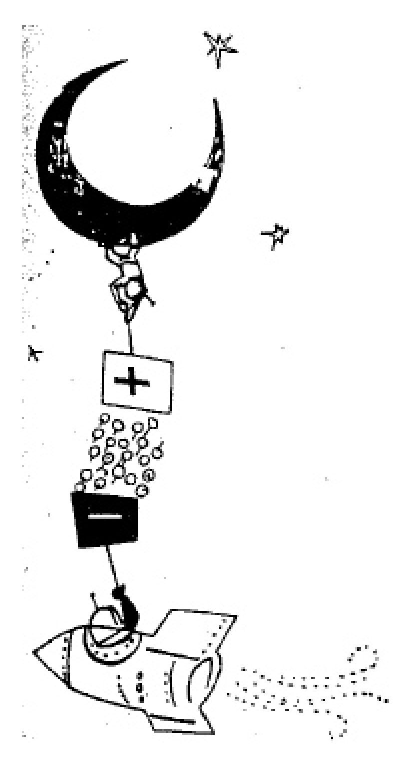
Resultó, que ni lo uno, ni lo otro. Aunque el electrón posee masa, él no es una sustancia. Es una partícula de materia, que entra en la composición de todas las sustancias que existen en la naturaleza.

En la historia de la física el electrón ocupó un lugar de honor: fue la primera partícula que dio comienzo al estudio de la enorme familia de partículas elementales.

Desde el momento del descubrimiento del electrón, los físicos comenzaron a demostrar un marcado interés por él. Establecieron, que dentro de todos los metales viven electrones libres, algo parecido a un líquido especial, que se derrama en el espacio vacío entre los átomos del metal (véase § 1.10).

¿Cómo se pudo echar una ojeada hacia el interior del metal y ver allí los electrones, los cuales no se pueden ver?

Claro está que con la ayuda de experimentos. Los experimentos son el fundamento de toda la electrónica, la fuente de sus logros, los supremos árbitros en la valoración de sus ideas. Y, por eso, entremos en el mundo de la electrónica de la misma forma que entraron en él los científicos; no con las manos vacías, sino con una batería eléctrica y con un trocito de metal =una lámina metálica- en las manos.



Conectamos la lámina con los polos "más" y "menos" de la batería e, instantáneamente, todos los electrones, que vagaban inútilmente dentro de la lámina, manifiestan su objetivo (véase § 1.11). Ahora, desconectamos la lámina de la batería y la hacemos calentar. Se inicia la emisión de electrones. Alrededor de la lámina recalentada se forma una nube de gas electrónico (véase § 1.14).

Si nadie ha visto a los electrones, entonces, nadie vio a la nube electrónica. Y, sin embargo, la física contemporánea maneja los electrones con la misma seguridad, que en el conocido proverbio, el cocinero la patata: para cada "plato de electrones" hay una receta preparada.

¿Quisieran hervir más rápidamente un "líquido electrónico”? Tomen el níquel o el wolframio. Ellos dan la mayor “evaporación” de electrones y, además, son bastante poco fusibles, se les puede recalentar hasta muy altas temperaturas. Pero, todavía es mejor recubrir la lámina de níquel o wolframio con una película de óxido, con óxido de metales alcalinotérreos. La "evaporación" será aún más eficaz. Aumentará la intensidad de emisión, concretará el especialista.

Cada uno sabe, que los radiorreceptores, antes de recibir una transmisión, deben recalentarse de 2 a 3 minutos. No obstante, no es por todos conocido, que precisamente en este tiempo se originan y aumentan las nubes invisibles de electrones, que envuelven los cátodos de todas las lámparas.

El movimiento en la nube es caótico, y el único objetivo que obliga a todos los electrones a moverse en una dirección puede ser la lámina metálica con potencial positivo. Bueno, que no quede por eso. Disponemos de la batería. La batería tiene dos polos: “menos" y "más”.

Conectamos el “menos” a la lámina que está rodeada por la nube de gas electrónico y, al lado, colocamos otra lámina, a la cual conectamos el polo "más". ¿Surgirá la corriente en semejante dispositivo?

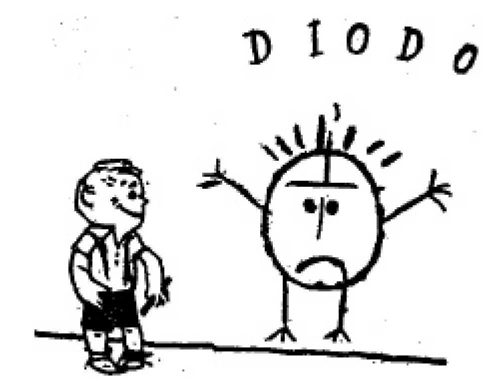
Sí, pero con una condición: si el experimento es realizado... en el cosmos. Este, en la Tierra, se ve obstaculizado por. El aire, este impide que los electrones que salieron fuera de los límites del cátodo, se dirijan hacia el ánodo. Para librarse de la influencia del aire, Edison procedió de una manera muy sencilla: creo un “cosmos en miniatura” coloco ambas láminas dentro de una ampolla de vidrio de la cual extrajo el aire.

Y observó, por primera vez, como en estas condiciones, entre las láminas no unidas por un conductor, circulaba corriente eléctrica.

Si desean realizar un experimento semejante, no tendrán la necesidad de crear por sí mismos un "cosmos en una ampolla de vidrio”, Uds. pueden tomar (comprar en

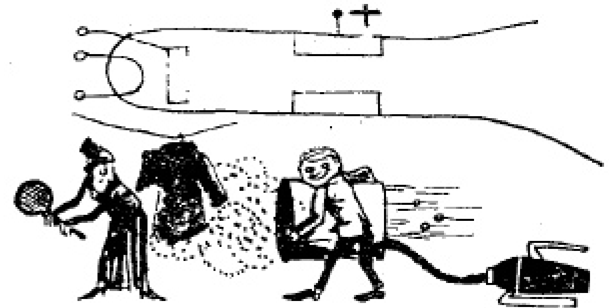
cualquier tienda de artículos de radio) una lámpara bi-electródica-diodo ya preparado (véase I.14).

El diodo fue descubierto por el inglés Fleming en el año 1904. Pero, hasta nuestros días, su principio permanece casi inalterable. En lo fundamental variaba su estructura. En el diodo de Fleming y en toda una serie de estructuras ulteriores de los diodos, la corriente de incandescencia se suministraba directamente al cátodo. Un perfeccionamiento sustancial fue la introducción del hilo de incandescencia, el cual fue propuesto, por primera vez, por el científico ruso A. A. Chernishev.



Al conectar el diodo a la batería, podrán observar la aparición de la corriente mediante un amperímetro (aparato que mide la corriente eléctrica) incorporado al circuito del diodo. La desviación de la aguja del aparato es el único resultado visible de todos los fenómenos descritos aquí por nosotros. Todos los demás procesos son invisibles. Y, sin embargo, dentro de la ampolla ocurre, precisamente, aquello acerca de lo cual nosotros hablamos, los electrones, al desprenderse del cátodo forman a su alrededor una nube electrónica, el ánodo atraerá los electrones, y dentro de la ampolla circulará la corriente eléctrica.

En el tubo también hay electrodos



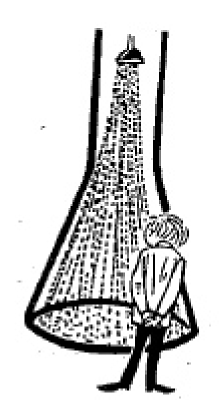
§ 1.17. Entre las numerosas piezas que se hallan en el interior del tubo electrónico, Ustedes pueden también observar el filamento incandescente, el cátodo y el ánodo.

El ánodo del tubo electrónico no se parece al ánodo del diodo: este tiene la forma de un cilindro.

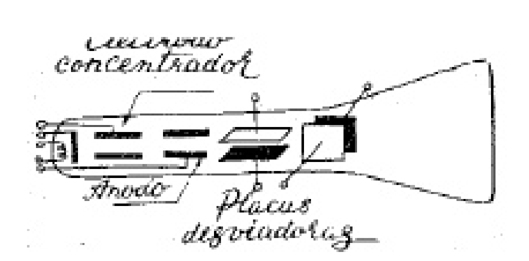


Los electrones, corren desde el cátodo hasta el ánodo y pasando a gran velocidad a través de él chocan contra la pantalla. La pantalla esta recubierta de un compuesto especial que comienza a alumbrarse en aquellos lugares donde chocaron los electrones.

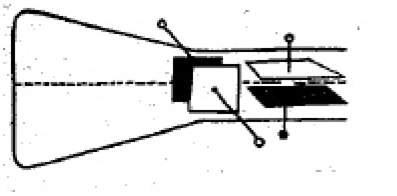
§ 1.18. Para dirigir todos los electrones, que salen precipitadamente del cátodo, hacia un punto de la pantalla, es necesario agruparlos en un estrecho haz. Los electrones se oponen a esto y se repelen los unos a los otros debido a que todos ellos son de carga homónima (negativa). Como resultado el haz "se hincha", y suponiendo que llegase a la pantalla en esta forma, aparecería en la misma como una mancha grande embadurnada.

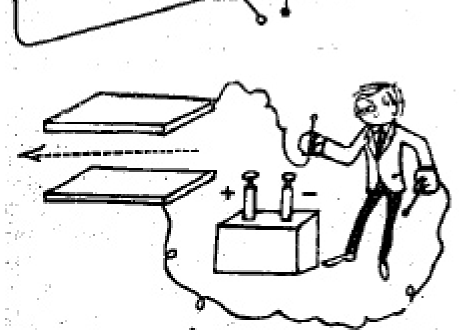


§ 1.19. El electrodo de enfoque fue el que ayudó a superar la "voluntariedad" de los electrones. Hecho también en forma de un cilindro hueco, el electrodo de enfoque se conecta al polo negativo de la fuente de voltaje, y por eso sus paredes rechazan a los electrones que mantenían gran velocidad, agrupándolos en un estrecho haz dirigido a lo largo del eje longitudinal del cilindro.

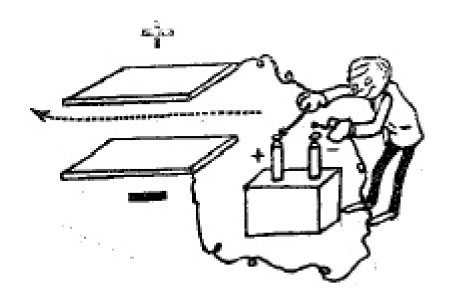


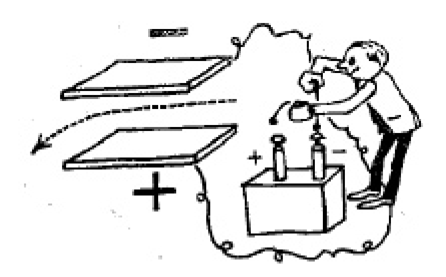
§ 1.20.





Por el camino, desde el cátodo a la pantalla, el electrón pasa a lo largo de las placas. Si en ellas no existe voltaje, el electrón no las notará y seguirá su camino hacia el centro de la pantalla. Junto con él correrán en la misma dirección todos los demás electrones y crearán en el centro de la pantalla una mancha luminosa.

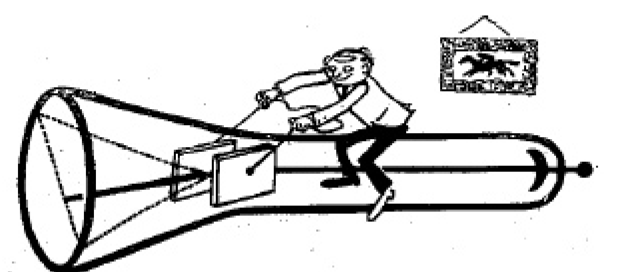




§ 1.21. ¿Qué sucederá si a un par de placas se les suministra voltaje? Todos los electrones se desviaran hacia el lado de la placa positiva, y la mancha se trasladará del centro de la pantalla hacia arriba.

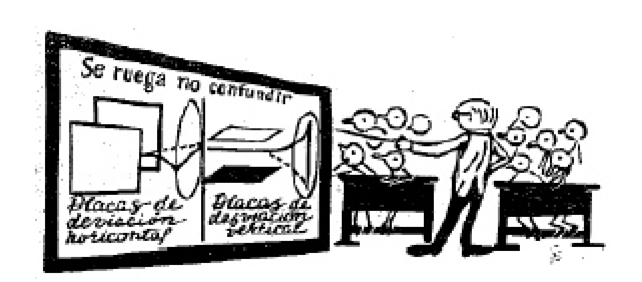
§ 1.22.

Cambiando en las placas los signos del voltaje aplicado, se puede trasladar la mancha hacia abajo.



§ 1.23. El Segundo par de placas permite trasladar el haz y la mancha hacia la izquierda y hacia la derecha.

§ 1.24. Para que en lo sucesivo no haya confusión con estas placas, es necesario de una vez y para siempre asimilar la regla cruzada: las placas de la parte izquierda de la pizarra, aunque están dispuestas verticalmente, desvían el haz hacia la izquierda y derecha, y por eso se denominan placas desviadoras horizontales.

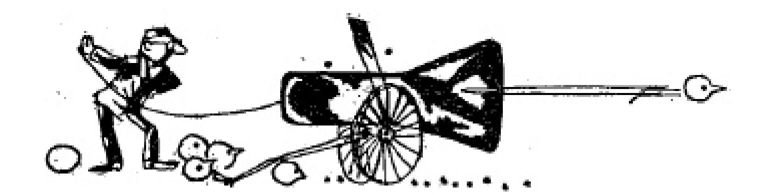


Estas mismas placas, -situadas en el plano horizontal se denominan placas desviadoras verticales, debido a que desvían el haz hacia arriba o hacia abajo.

Los dos pares de placas son como un dispositivo de tiro original, el cual permite cañonear cualquier punto de la pantalla dirigiendo el haz hacia él.

Armados de un "cañón"

El diodo, representa ya la electrónica. Fue creado para necesidades técnicas absolutamente concretas. Pero en los primeros tiempos no existían todavía necesidades técnicas. No existía tampoco la electrónica, lo único que existía eran solamente los deseos naturales de los físicos de estudiar el electrón. Por ese motivo, ya 40 años antes de ser inventada la lámpara bi-electródica (diodo), apareció el tubo electrónico, creado por los físicos como un aparato exclusivamente experimental.



En aquellos tiempos nadie podía suponer la importancia que tendría en el futuro el diverso empleo del tubo electrónico. En la localización y en la televisión, para la recepción de señales del espacio cósmico, en diversas investigaciones de laboratorio y aparatos de retención memorial de los datos elaborados por las máquinas electrónicas, el tubo electrónico es imprescindible. Pero los físicos Plukker, Kirgler, Hittorf, Kruks Perrin y Willard, que realizaron los primeros experimentos con este tubo, tenían una finalidad mucho más honesta; ellos querían comprender el comportamiento del electrón.

Los dispositivos, que crean el haz dirigido en el interior del tubo, fueron denominados por alguien con precisión “cañones electrónicos”.

En realidad, los electrones se parecen a las balas y el potencial positivo del ánodo sustituye a la presión de los gases que expulsan la bala del cañón. El electrodo de enfoque sirve de cañón, y asegura la precisión del fuego (véase § 1.19). Las placas de control son similares a los dispositivos de puntería de un arma (véase § 1.20 al § 1.24).

¿Quién podría saber, que este dispositivo con el tiempo justificaría el título militar de "cañón" y hubiera de ayudar a las armas actuales a destruir, sin fallo de tiro, el objetivo enemigo?

Pero hasta que el “cañón electrónico" encontró su utilización en los indicadores de las estaciones de radiodetección, él ya obtuvo suficientes méritos pacíficos.

Es más, aún 100 años atrás los físicos se dedicaban a las investigaciones sobre la naturaleza de los haces (en aquel tiempo se denominaban “haces catódicos” creados por los “cañones electrónicos".

Al principio se estableció que estos haces siempre se desvían hacia aquella placa, a la cual se conectó el polo positivo de la fuente. De aquí se sacó la conclusión que el haz representa un flujo continuo de partículas que poseen carga negativa.

Después se logró determinar la velocidad y calcular la masa de estas partículas. De esta forma el "canon electrónico" ayudó a conocer las propiedades de los electrones invisibles, convirtiéndolos de porciones incorpóreas de electricidad en partículas de “cuerpo y alma”.



Más tarde, con la ayuda de “cañones”, exactamente iguales a estos, los ingenieros lograron obtener imágenes nítidas en la pantalla de televisión. Y muchos años antes de la creación de la televisión fue elaborado un aparato de laboratorio llamado oscilógrafo, que permitía observar una variedad de procesos eléctricos, de los cuales anteriormente los investigadores solo pudieran haber tenido una imaginación.

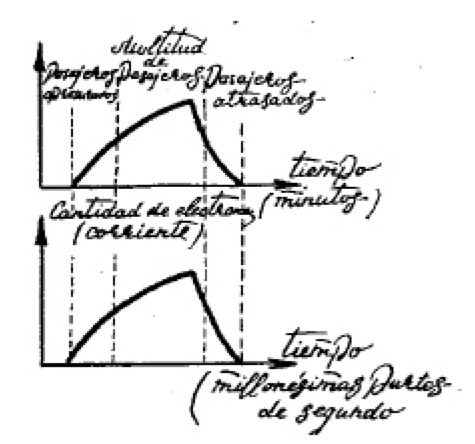
Pongamos, como ejemplo, el impulso eléctrico ¿Qué representa en sí? Un choque creado por una gran cantidad de electrones que corren simultáneamente por los conductores y elementos de los circuitos.

Observen en ocasión, una escalera mecánica en una de las estaciones del metro. Su carga no es uniforme. Cuando llega el tren al andén, todos los pasajeros se precipitan hacia la escalera mecánica. Aquellos que tienen mucha prisa corren hacia ella agitadamente. Después se acerca la multitud de gente en la escalera mecánica los pasajeros se encuentran extraordinariamente apretados. Y a continuación la

escalera esta vacía. El impulso terminó. Cuando llega el siguiente tren el ciclo se repite de nuevo.

Esta representación es semejante a lo que sucede en los circuitos de impulsos. Los trenes del metro se pueden comparar con un generador de impulsos, la escalera mecánica con un tramo del conductor y el pasajero, en este caso, se comporta igual que el electrón.

Y la gráfica que representa la alteración de la corriente en función del tiempo se parece mucho a la gráfica en la que se refleja la cantidad de pasajeros llevados por la escalera mecánica hacia arriba.

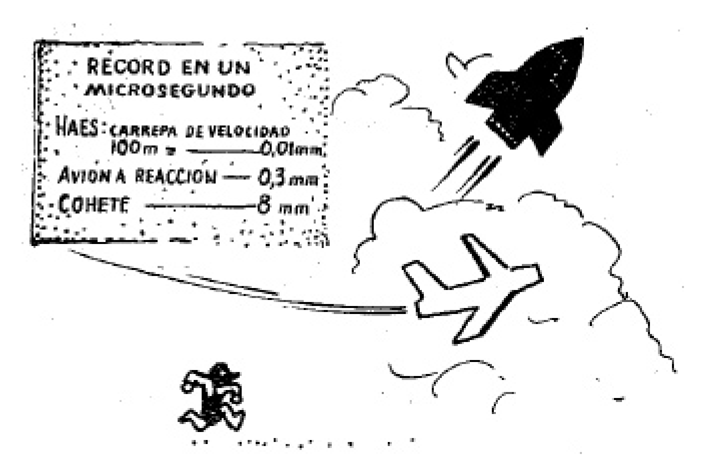


No obstante, a diferencia de los acontecimientos en el metro, que duran varios minutos, el impulso eléctrico corrientemente aparece y desaparece en una millonésima parte de segundo. ¿Es posible que en este tiempo tan corto se pueda examinar algo? ¿A quién le daría tiempo para observar un impulso, que se origina y muere en el transcurso de una millonésima parte de segundo?

Resulta, que en este caso, no es necesario apresurarse. Los impulsos inmediatos pueden dejar una huella en la pantalla, y esta huella se conservara el tiempo suficiente para que un ingeniero o un científico puedan valorar su forma y observar como la corriente eléctrica durante un instante crece, se mantiene y desaparece.

Los tubos electrónicos brindan a los ingenieros estas posibilidades.

La huella de los invisibles



Una millonésima parte de segundo... Este tiempo es insignificante a tal grado, que incluso es difícil imaginárselo.

El recordista mundial que salva la distancia de 100 metros en 9,8 segundos, en una millonésima parte de segundo superará... una centésima parte de milímetro.

El vuelo total de un avión de propulsión a chorro en este corto tiempo será igual a tres décimas de milímetro. ¡Y eso que el vuela a la velocidad del sonido! Un cohete, que conduce un satélite a su órbita a una velocidad cósmica se alejara de nuestra Tierra solamente a la distancia de ocho milímetros.

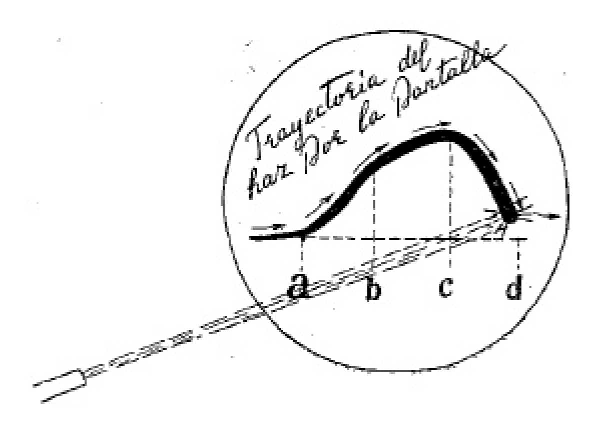
En un circuito electrónico, durante una millonésima parte de segundo, suceden tantos acontecimientos, que hacer un relato sobre ello nos llevaría varias horas.

Los electrones "viven" en otra escala de tiempo. Ellos son tan ágiles y ligeros, que en una millonésima parte de segundo les da tiempo a realizar una gran cantidad de diferentes problemas.

...El impulso se prolonga durante una millonésima parte de segundo. Durante este tiempo al haz del tubo electrónico, moviéndose de izquierda a derecha, le da tiempo a atravesar la pantalla.

En aquel momento cuando el haz comenzó su recorrido, el impulso llegó a las placas de desviación vertical y desvió el haz hacia arriba. Pero, desviado, el haz continuaba su recorrido de izquierda a derecha, y, cuando el impulso terminó, el haz regresó (descendió) al centro de la pantalla terminando con esto su recorrido. Como resultado quedó una huella del haz en la pantalla. Esto es la gráfica del impulso; mirando la imagen se puede ver como durante una millonésima parte de segundo aumentaba (el tramo a - b), se mantenía (b - c) y disminuía la corriente eléctrica

La pantalla del tubo electrónico se convierte en una pantalla maravillosa: en ella se puede ver el movimiento de los pasajeros invisibles en escaleras mecánicas invisibles, es decir, el movimiento de la corriente en el interior de los conductores y en otros elementos del circuito.

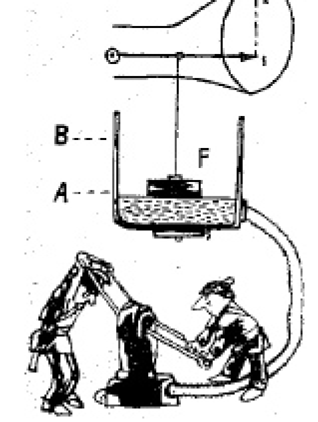


La imagen en la pantalla se mantiene poco tiempo: la pantalla se recubre de un compuesto especial que después del recorrido del haz puede iluminarse durante algunos segundos o parte de ellos. Pero la electrónica rara vez trata con impulsos aislados. Usualmente estos impulsos se suceden y cada uno de ellos hace que el haz se desvíe y renueve su huella. Durante el transcurso del impulso, el haz corre por la

pantalla de izquierda a derecha; después el rápidamente, en un instante regresa al borde izquierdo de la pantalla para repetir nuevamente su recorrido.
¿Y qué significa "rápidamente”? De izquierda a derecha el haz corrió solamente una millonésima parte de segundo. En este caso la velocidad de marcha directa (es decir, de recorrido de izquierda a derecha) constituye, en unidades familiares para nosotros, aproximadamente 100 kilómetros por segundo o 360.000 kilómetros por hora. Si suponemos que el haz se deslizará por la Tierra y no por la pantalla, ¡su huella daría 10 vueltas alrededor de la Tierra en el transcurso de una hora!
¿Puede que esto no sea rápido? Es rápido. Pero en la electrónica incluso tal velocidad esta aún lejos de la velocidad record. El movimiento del haz de izquierda a derecha es rápido, pero de derecha a izquierda (es decir, durante el tiempo de marcha invertida) es aún cien veces más rápido.
¿Y que depende la velocidad del recorrido? ¿Qué es lo que obliga al haz a regresar después de haber alcanzado el borde de la pantalla? Para contestar a estas preguntas tendremos que explicar los principios de control del haz electrónico.

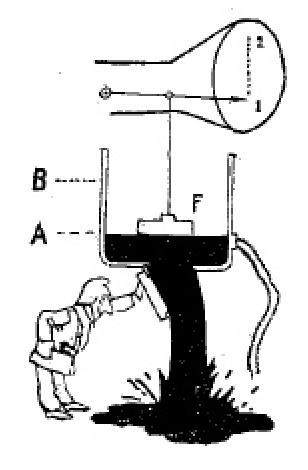
Casi como en un manual de problemas y ejercicios

El haz es controlado por los electrones. En este proceso participan una gran cantidad de electrones: unos crean el impulso eléctrico, otros, disparados por el cañón electrónico, se dirigen velozmente del cátodo a la pantalla del tubo y los terceros en este mismo tiempo controlan el haz. Esta es la causa por la cual en una millonésima parte de segundo en el circuito electrónico suceden tantos acontecimientos, que hacer un relato detallado sobre ellos nos ocuparía horas enteras.



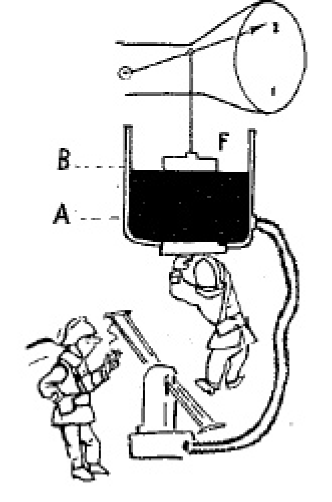
Nosotros aquí no vamos a discutir todos estos detalles. Pero el propio principio de control del haz electrónico merece una referencia más detallada, puesto que ahora nosotros estamos examinando el primer aparato electrónico, en el cual por la acción de una multitud de electrones se crea un proceso único y complejo. Por cuanto que el proceso electrónico es insensible e invisible, nosotros para comenzar recurriremos a un modelo convencional. En él, todo es “ponderable, tosco, visible”, y a pesar de todo, el

modelo reproduce con bastante exactitud el proceso de control del haz electrónico. Imagínense un depósito de una capacidad determinada, supongamos de C litros, que a través de una manguera estrecha se llena de agua. Durante el tiempo T_1 el nivel de agua en el depósito se elevará desde *A* hasta *B*. El flotador *F*, ascendiendo según el llenado del depósito, hace girar a la aguja, la que en nuestro modelo convencional desempeña el papel del haz. Durante el tiempo T_1 el extremo de la aguja se trasladará hacia arriba por la pantalla desde el punto *1* hasta el punto *2*.



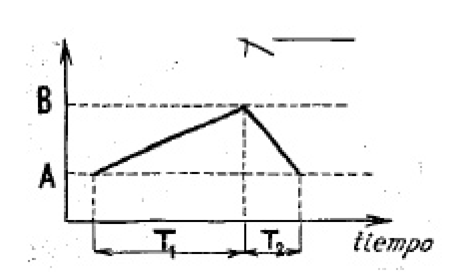
En este momento se abre la boca de descarga, dispuesta en la parte inferior del depósito, y el nivel de nuevo desciende desde *B* hasta *A*. Puesto que la boca de descarga es más ancha que la manguera, el vaciado se realiza mucho antes que el llenado, supongamos, durante el tiempo T_2. En este caso la aguja haz regresara del punto *2* al punto *1*. ¿No es verdad que nuestro sistema recuerda aquellas numerosas piscinas de los manuales de problemas y ejercicios de la escuela primaria, en los que a través del tubo *A* se vierten *x* litros de agua por minuto y por el tubo *B* se evacuan *y* litros? Pero hay una diferencia.

Allí el agua circula corrientemente por los dos tubos al mismo tiempo. Pero en nuestro sistema los tubos actúan alternativamente. Gracias a esto durante el tiempo T_1 la aguja asciende lentamente y, después, durante el tiempo T_2 desciende rápidamente.



El proceso descrito por nosotros está representado en un gráfico en el que se ve, como durante el tiempo T_1 el nivel se eleva lentamente desde *A* hasta *B*, y durante el tiempo T_2 desciende rápidamente desde *B* hasta *A*.

Ahora, seguramente, se comprenderá más fácilmente, como transcurre el proceso en el circuito electrónico. “El depósito" es el condensador *C*, "la bomba” la fuente de corriente *E*, y "la manguera” la resistencia mayor R_1.

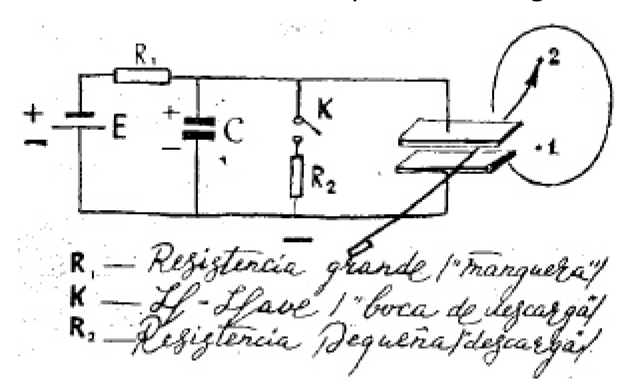


Según va cargándose el condensador, aumenta el nivel en el "depósito” en este caso concreto el nivel de voltaje entre las armaduras del condensador, el cual habitualmente se designa por U_c.

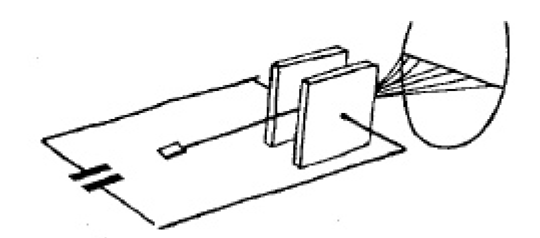
La llave K es una "boca de descarga" original: esta abre el camino a la corriente a través de la resistencia menor R_2 y así hace posible la realización del “vaciado". Puesto que la resistencia "de vaciado” R_2 es mucho menor que la resistencia de la “manguera" R_1, el voltaje en el condensador cae rápidamente desde *U* hasta cero.

El gráfico del proceso ya fue examinado por nosotros. En lugar del nivel de agua en el depósito, al eje vertical llevaremos ahora la tensión en el condensador U_c.

No es difícil observar que nuestro gráfico por su forma es semejante a un diente. Si el proceso se repite muchas veces, aparecen varios dientes que en conjunto toman la forma de una sierra. Este voltaje serriforme es el que controla al haz. Si el condensador se conecta a las placas verticales, el haz se desplaza por el plano horizontal. Durante el tiempo T_1 (el chaflán largo del diente) el haz se desplaza de izquierda a derecha y durante el tiempo T_2 (el chaflán corto de diente) realiza su rápido recorrido de regreso.



Es necesario observar, que la velocidad del haz depende de la velocidad *A* del llenado del “depósito", es decir, de la velocidad de acrecentamiento del voltaje *U*. Mientras el condensador esta poco cargado esta velocidad es casi constante y el haz a velocidad constante atraviesa la pantalla. Para mantener la velocidad del haz, la capacidad *A* del “depósito" siempre se escoge con una reserva, procurando no rellenarlo “hasta los bordes”.



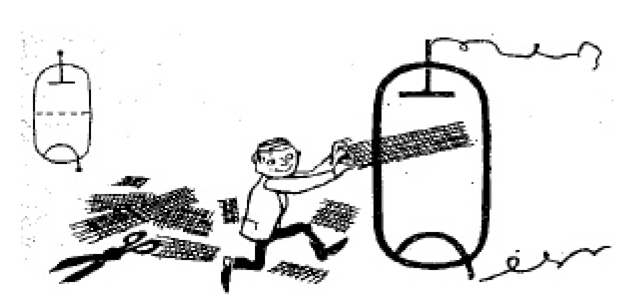
Para comprender hasta el fin este principio nos queda por resolver solamente una cuestión.

En nuestro modelo convencional la boca para el vaciado del depósito la abrimos nosotros mismos en un momento oportuno.

¿Y quién, en el citado circuito en un momento determinado cierra la llave *K*?

Este problema se soluciona con ayuda de una lámpara de tres electrodos, con el tríodo. Precisamente sobre ella trataremos a continuación.

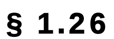
La rejilla hizo revolución



§ 1.25

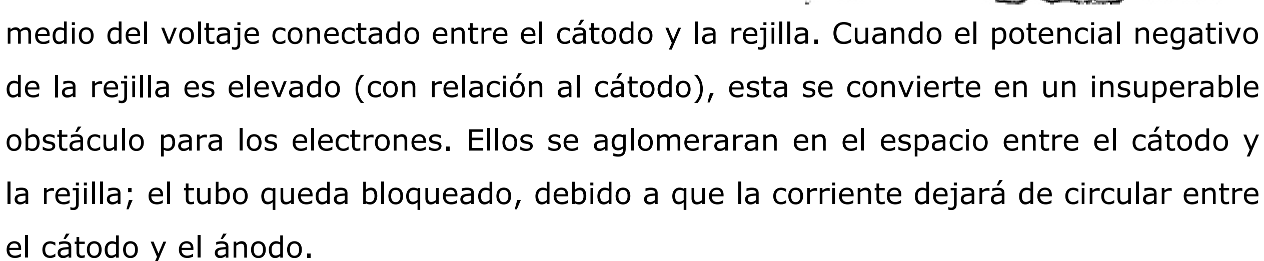
La introducción de un tercer electrodo (rejilla de control), entre el cátodo y el ánodo del tubo-diodo anteriormente examinado, nos ha permitido controlar la corriente que circula en el tubo.

Con la aparición de las lámparas de tres electrodos, denominadas triodos, el campo de utilización de los tubos electrónicos se amplió inmensurablemente.



§ 1.26

El control de la corriente en el tríodo se realiza por medio del voltaje conectado entre el cátodo y la rejilla. Cuando el potencial negativo de la rejilla es elevado (con relación al cátodo), esta se convierte en un insuperable obstáculo para los electrones. Ellos se aglomeraran en el espacio entre el cátodo y la rejilla; el tubo queda bloqueado, debido a que la corriente dejará de circular entre el cátodo y el ánodo.



§ 1.27

Para anular semejante “amontonamiento”, es suficiente cambiar en la rejilla el polo “menos” por el “más". Si el potencial en la rejilla es positivo, ella prestará ayuda al ánodo, debido a que su potencial positivo se adicionara al potencial positivo del ánodo. A través del tubo circulará corriente de gran amperaje.

No obstante, si el potencial positivo en la rejilla es excesivamente elevado, dicha rejilla puede convertirse de



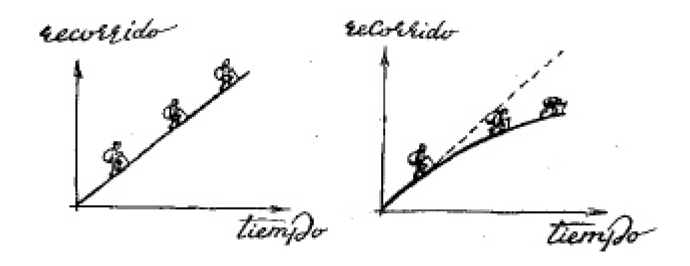
ayudante del ánodo en su competidor: parte de los electrones serán atraídos por la rejilla y no llegaran hasta el ánodo. En el tubo aparece corriente parásita de rejilla.

§ 1.28

Todo lo que fue relatado sobre los procesos que tienen lugar en la lámpara de tres electrodos se puede representar mediante una línea curva. La curva muestra como varía la corriente anódica en la lámpara en dependencia del voltaje entre sus electrodos. Esta curva se denomina curva característica del tubo electrónico.

§ 1.29

La curva característica del tubo es prácticamente un gráfico.



¿Para qué sirven en general los gráficos? Para representar evidentemente la dependencia entre dos magnitudes cualesquiera. Por ejemplo:

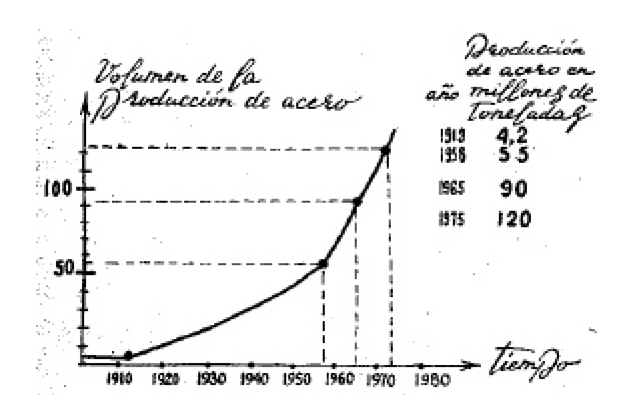
Cuanto más tiempo se encuentre un peatón en camino, tanto más distancia caminará. Así se representará un gráfico para un caminante, si hubiese caminado a una velocidad constante. Si al final del camino el caminante se fatiga, entonces el gráfico se representará de esta forma.

En este caso se dice que la dependencia entre el camino y el tiempo no es lineal, la dependencia se expresa no por una línea recta, sino por una curva.

§ 1.30

Para todos es conocida otra clase de gráfico: el aumento de cualquier tipo de producción. En el dibujo se representa el gráfico de producción de acero. Aquí la

dependencia, de nuevo no es lineal: con los años la producción de acero aumenta cada vez con más rapidez.



En los ejemplos anteriores cada gráfico mostraba como una magnitud cualquiera (el camino, la cantidad de acero) depende del tiempo. Con el mismo éxito se puede representar, mediante un gráfico, la relación entre dos magnitudes cualesquiera. Se puede mostrar la dependencia entre la distancia de vuelo de un avión y la cantidad de combustible; entre su velocidad y la potencia del motor; entre la resistencia del aire y la velocidad de vuelo, etc. etc.

§ 1.31

Ahora volvamos a la curva característica del tubo electrónico.

La dependencia de la corriente anódica (J_a) del voltaje entre el cátodo y la rejilla (U) se llama característica de rejilla-placa del tubo. La dependencia entre la corriente del ánodo (J_a) y el voltaje en el mismo (más exactamente, y el voltaje entre el cátodo y el ánodo U_a) se denomina característica de la corriente de ánodo del tubo.

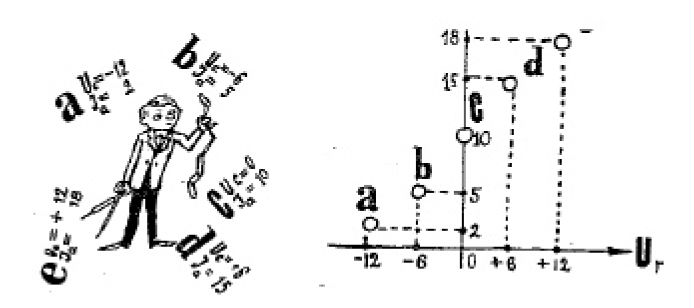
La curva característica de rejilla-placa se traza de la manera siguiente. Supongamos que para un voltaje U = - 12 voltios la corriente anódica J_a = 2 miliamperios (es decir, 2 milésimas partes de un amperio).

Marquemos 12 voltios en el eje horizontal del gráfico y 2 miliamperios en el eje vertical.

La intersección de dos rectas, paralelas a los ejes del gráfico, origina el punto a.

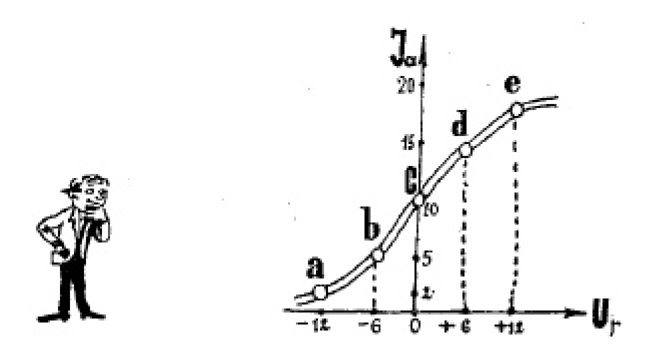
§ 1.32

Para diferentes valores del voltaje U y el voltaje U_c invariable obtenemos diferentes valores de la corriente J_a. Colocando estos valores en el gráfico obtenemos los puntos b, c, d.



Marcando varios puntos para los distintos valores de U_e, de –12 a +12 voltios, y uniéndolos después, obtendremos la curva característica de rejilla-placa del tubo electrónico.

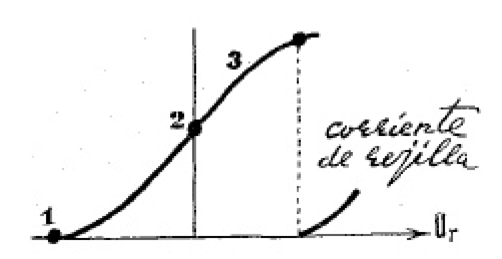
Como se puede apreciar, en este case, el gráfico de nuevo no es lineal: en el punto a la corriente crece lentamente, entre los puntos *b* y *d*, rápidamente (y, además, linealmente) y en el punto e deja de crecer.



§ 1.33

Incluso las referencias más amplias no pueden dar una representación completa de una persona.

La curva característica del tubo electrónico da los datos completos sobre su comportamiento. En ella se ven todos los procesos, sobre los cuales se habló en los párrafos 1.26-1.27.



Punto 1

El voltaje negativo entre el cátodo y la rejilla es de alta magnitud. La rejilla se convirtió en un obstáculo insuperable para los electrones. La corriente anódica es igual a cero (véase § 1.26).

Punto 2

La batería se ha desconectado de la rejilla. Parte de los electrones se dirigen hacia el ánodo.

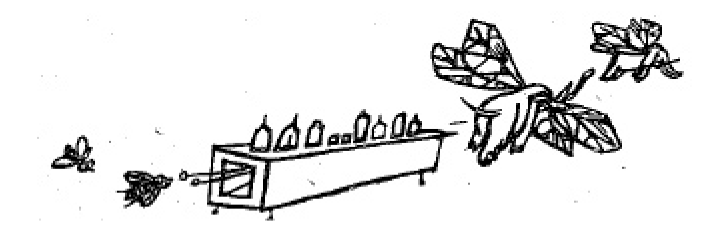
Punto 3

El potencial en la rejilla es positivo. La rejilla ayuda al ánodo y la corriente anódica aumenta (véase § 1.27).

Punto 4

La rejilla se convierte en un competidor del ánodo. Surge corriente parásita de rejilla (véase § 1.27).

§ 1.34



La curva característica permite determinar, que al cambiar U_c, por ejemplo, desde -6 hasta +6 voltios, es decir, en 12 voltios, la corriente anódica varía de 5 a 15 miliamperios (véase § 1.32).

La señal que actúa sobre la rejilla habitualmente es mucho más débil. Supongamos que el voltaje entre el cátodo y la rejilla varía de -0,6 a +0,6 voltios, es decir, en

1,2 voltios. La corriente anódica, en este caso, varía en 1 miliamperio. (A propósito, observemos que en el tramo lineal de la curva característica, la relación entre el voltaje y la corriente es directamente proporcional).

Si al ánodo del tríodo se ha conectado una resistencia igual a 24 kilo-ohmios (24 mil ohmios), las oscilaciones de la corriente crearan en él oscilaciones del voltaje con una amplitud de:

1.10^{-3} amp x 24.10^{3} ohms = 24 voltios.

Con ayuda de la rejilla

El 5 de octubre de 1956 al inventor norteamericano Lee de Forest le fue concedida una alta condecoración: la orden de la Legión de Honor. A la solemne ceremonia de entrega de esta, asistió el eminente físico de nuestra época Luis de Broglie. En su alocución de felicitación, Luis de Broglie señaló que el nombre de Lee de Forest se había convertido en uno de los nombres más grandes dentro de la ciencia y la técnica contemporánea, gracias al descubrimiento hecho por Lee de Forest medio siglo atrás.

Los especialistas de todos los Campos de la ciencia deben expresar a Lee de Forest su reconocimiento, su admiración y su respeto señaló en conclusión Luis de Broglie.

¿Cuál es este gran descubrimiento, que todavía provoca admiración y reconocimiento aún después de haber pasado medio siglo?

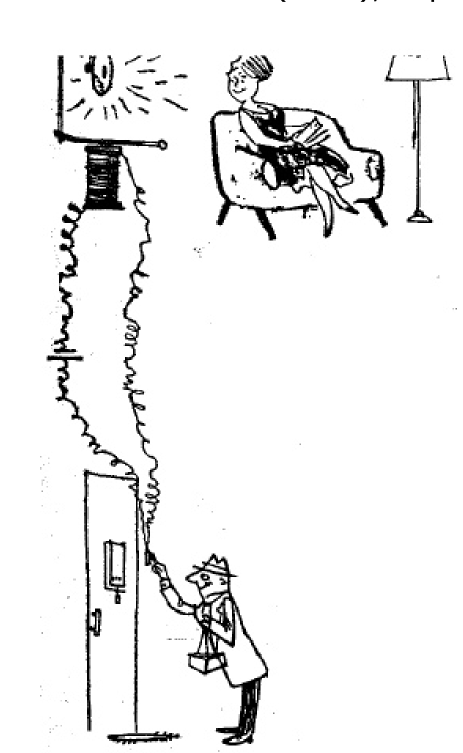
A primera vista ello, de ninguna manera, parece tan grandioso. Tres siglos antes del descubrimiento de Lee de Forest, el ya mencionado científico Fleming elaboró la conocida por nosotros lámpara bi-electródica (véase § 1.14 y § 1.15). Lee de Forest propuso solamente introducir entre el ánodo y el cátodo de la lámpara-diodo un electrodo más.

Al parecer, ¿qué hay aquí de grandioso? Había en la lámpara dos electrodos, posteriormente aparecieron tres.

¡Pero cuantas fueron las posibilidades inesperadas que adquirió la técnica con la aparición de la lámpara de tres electrodos! Lee de Forest denomino a su lámpara "audión". Con el tiempo ese nombre fue olvidado y actualmente la lámpara con tres electrodos, se denomina tríodo.

Posteriormente aparecieron lámparas con dos, tres, cuatro y cinco rejillas. Pero, como decía textualmente Luis de Broglie "cuan importantes sean las modificaciones introducidas con el tiempo en el modelo primario del tríodo, inventado por Lee de Forest, todos los tipos de tubos modernos de este genero están basados en un principio esencial, introducido por Lee de Forest, es decir, en el control de la variación de la corriente, que circula en el tubo de vacío entre el cátodo y el ánodo, con auxilio de otros electrodos adicionales".

En general todas estas denominaciones de las lámparas están relacionadas con la cantidad de electrodos: el diodo tiene dos electrodos (di-dos), el tríodo: tres, el tetrodo: cuatro (tetra), el pentodo: cinco (penta), etc.



Todo lo genial parece ser sencillo. Como mejor confirmación de esto puede servir la primera rejilla, que constituyó toda una revolución en la técnica, cuyas ramas hoy día no pueden dejar de servirse de los tubos electrónicos.

Y es poco probable en la actualidad encontrar equipos electrónicos que no se sirvan de triodos. Cierto es que en lugar del tríodo que acabamos de conocer, se va utilizando cada vez más el tríodo semiconductor. Pero, a pesar de las diferencias en el principio de su funcionamiento, todos los triodos (tanto los de vacío como los de semiconductores) resuelven los mismos problemas: o aumentan y transforman las señales, o se utilizan para conectar y desconectar la corriente, es decir, sirven como una simple "llave". Más exactamente, la llave en este caso es la red, y el tríodo desempeña el papel de cerradura.

No es casual que las primeras lámparas de tres electrodos recibieran el nombre de relé al vacío. En la electrotecnia con la palabra "relé" se denominan los equipos que realizan la conmutación de las secciones de un circuito. Hasta la aparición de las lámparas de tres electrodos dicho problema podía ser resuelto solamente con la ayuda de un electroimán. Al atraer el núcleo, el imán conecta un contacto e interrumpe otro. El tríodo dio la posibilidad de interrumpir y conectar la corriente sin

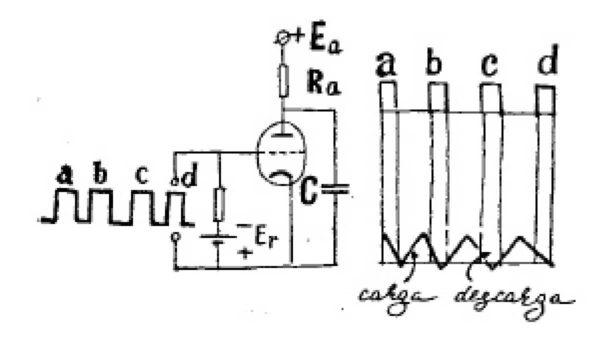
la ayuda del imán y sin contactos, además, el tiempo de conmutación se ha reducido mil veces.

El primer tríodo, creado en la Unión Soviética bajo la dirección de M. A. Bonch-Bruevich, fue dedicado precisamente a la solución de este problema. Se le bautizó con el nombre de RV-1, es decir, relé al vacío tipo I.

Pero, es otra facultad, la que dio al tríodo su gran fama: no existe actualmente ninguna rama de la electrónica donde no se haya presentado la necesidad de amplificar una u otra señal.

Sobre la sierra, el haz y la llave

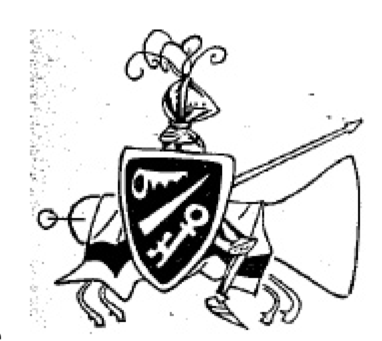
Y ahora, cuando ya hemos analizado las propiedades principales de los triodos, podemos volver a los procesos estudiados en la parte "Casi como en un manual de problemas y ejercicios", y elaborar el esquema completo de control del haz electrónico. Si ustedes recuerdan, ya hablamos que en el esquema donde el condensador sirve como "recipiente" el tríodo desempeña el rol de una llave K.



El condensador está conectado al ánodo del tríodo. Mientras el tríodo está bloqueado el condensador se carga; la corriente fluye desde la fuente E_a hacia la tierra a través del condensador *C* y la resistencia grande R_a.

La tensión en el condensador crece lentamente, creando un largo chaflán en el diente de la sierra. Posteriormente, a la rejilla llega un impulso y, creando un potencial positivo en ella, desbloquea el tríodo. El tríodo desbloqueado se asemeja a la boca de descarga del recipiente; a través de él fluye rápidamente a la tierra toda la carga acumulada en el "recipiente". El tiempo de descarga (T_2) corresponde al chaflán corto del diente. En este tiempo el haz realiza en la pantalla su retroceso.

Así pues, en realidad, hemos analizado todo el principio de funcionamiento del aparato que permite ver todo lo invisible. Puede ser que merezca la pena volver a mirar una vez más las partes "**La huella de los invisibles**" y "**Casi como en un manual de problemas y ejercicios**" para tener una idea más clara acerca de como se realiza la interacción entre la sierra, el haz y la llave.

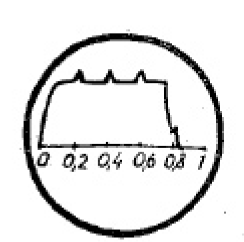


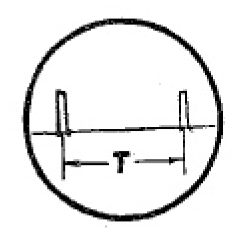
Falta por tratar una circunstancia importante. Para que la representación del impulso en la pantalla sea fija y nítida, es necesario que el haz, en cada nuevo recorrido, siga siempre el mismo itinerario. Para resolver mejor este problema se debe aplicar el principio del "autoservicio": actuar de tal manera que el impulso que debe hacerse visible, en el momento necesario ponga en marcha para sí mismo la sierra. La sierra se pone en marcha con auxilio de un tríodo-llave adicional. El impulso pasa inicialmente a la rejilla y, desbloqueando el tríodo; obliga al haz a correr por la pantalla. A esta última ese mismo impulso llegará un poco más tarde (para esto se dispone de esquemas especiales de retención del impulso), cuando el haz se aleje del borde de la pantalla. Gracias a esta retención el impulso aparecerá en la parte media de la pantalla y será visible por completo.

Con el siguiente impulso se repite lo mismo, y este volverá a aparecer en el centro de la pantalla. Con la llegada de cada impulso el haz repite el recorrido por un mismo itinerario, restaurando su propia huella.

El tiempo bajo el microscopio

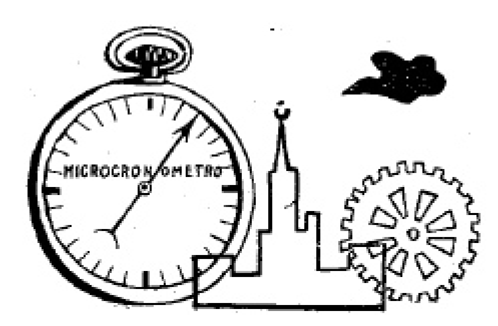
El principio, con el cual nosotros nos hemos familiarizado, no solamente sirve para observar los impulsos u otros procesos electrónicos. Este, además, permite resolver un problema de gran importancia: medir el tiempo con exactitud de hasta millonésimas e incluso cienmillonésimas partes de segundo. Es evidente, la gran importancia que tiene esto para las necesidades de la propia electrónica, pues los electrones son tan hábiles que casi todas las funciones las realizan en millonésimas partes de segundo.





Para la medición del tiempo, en el transcurso del cual dura el impulso, es suficiente conocer la anchura de este último en la pantalla y la velocidad del haz. Si el haz recorre toda la pantalla en una millonésima parte de segundo, es decir, en un microsegundo, entonces la duración del impulso en el gráfico será de 0,8 microsegundos. Para facilitar el cálculo se puede obligar al haz a desviarse ligeramente con la ayuda de impulsos-marcas y medir por estas marcas, digamos, décimas partes de microsegundo.

Se puede medir el tiempo entre dos impulsos diferentes. Así precisamente se procede en la radiolocalización; por la distancia entre los impulsos se determina, cuan lejos se encuentra del objetivo.



Supongamos que el impulso-1 llegó a la pantalla al mismo tiempo que el impulso emitido por la antena de un localizador. En el tiempo T, este impulso tuvo tiempo para llegar hasta el objetivo y, reflejándose, regresar a su punto de partida. Aquí él se amplificó por el receptor y nuevamente desvió el haz electrónico. En la pantalla surgió un nuevo impulso (llamémoslo, impulso-2).

El impulso se desplaza a la velocidad de la luz, es decir, a 300.000 kilómetros por segundo. La distancia de 150 metros hacia allá, hasta el objetivo, y los 150 metros de retorno él la recorre en una millonésima parte de segundo, es decir, precisamente en el tiempo en el transcurso del cual el rayo cruza la pantalla. Por consiguiente, entre el tiempo T en la pantalla (cuando la velocidad del recorrido del haz es conocida) y la distancia hasta el objetivo de reflexión existe una relación completamente determinada. Para determinar la distancia con una exactitud de hasta 10 metros, es necesario medir el tiempo con una exactitud de hasta décimas partes de microsegundo. Tal problema se puede resolver sólo con la ayuda de aparatos electrónicos, que permiten alargar en la pantalla las millonésimas partes de un segundo, así como los microscopios “alargan" los objetos microscópicos, aumentándolos miles de veces.

Háganse la idea que alguien se propuso medir la millonésima parte de un segundo sin recurrir a la ayuda de la electrónica. ¿Se podría hacer esto con la ayuda de un cronómetro?

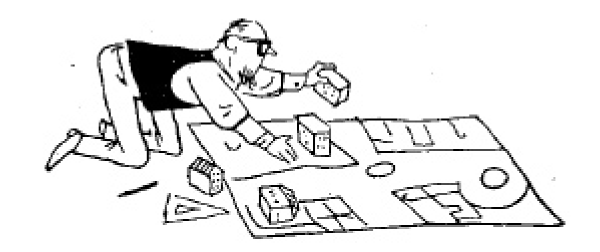
Su aguja realiza una revolución por segundo. Si un milímetro de la esfera del cronómetro contuviera una millonésima parte de segundo, entonces la longitud de la circunferencia de dicha esfera debería componer un millón de milímetros, o un kilómetro y su diámetro, cerca de los 300 metros: la esfera del cronómetro será más alta que el edificio de la Universidad Estatal de Moscú.

¿Puede que sea necesario obligar a la aguja a realizar una revolución en un microsegundo? Entonces, en un segundo ella debería realizar un millón de revoluciones. Para hacer girar a tal mecanismo mediante un motor de 100 revoluciones por segundo, tendríamos que disponer de un reductor. Probemos fijar la aguja de un "Contador de microsegundos" en una ruedita con un diámetro de un centímetro. Entonces, a la entrada del reductor es necesario colocar una rueda de 100 metros. ¿Qué cantidad de energía sería necesario consumir para hacer girara esa rueda de 100 metros a una velocidad de 100 revoluciones por segundo?

El resultado que se obtiene es paradójico: el microsegundo, que es ínfimamente pequeño, exige relojes fantásticamente grandes. Pero sorprenderse aquí, en realidad, no hay de que. La mecánica es demasiado pesada para la medición de millonésimas partes de segundo. Aquí se necesitan otro "mecanismo" y otras "piezas", móviles, ligeras, en una palabra, similares al electrón.

La cimentación de un enorme edificio

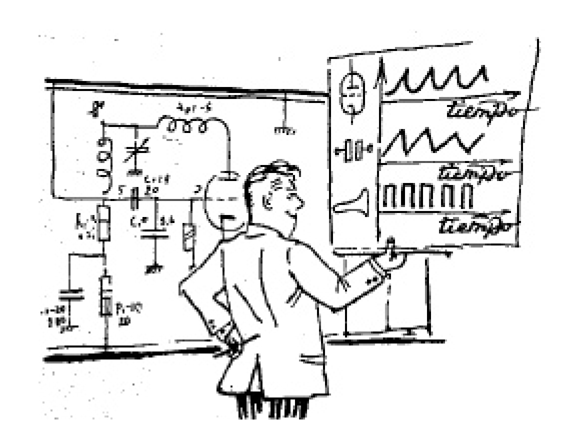
Este capítulo llega a su final. Todo lo examinado, claro está, es insuficiente para juzgar sobre toda la rama de la electrónica, pero lo suficiente, para encontrar un determinado enfoque de la electrónica.



Existen dos partes de la electrónica y ambas son igualmente necesarias para quienes han decidido conocer algo de ella. Por una parte, las ideas fundamentales y las leyes, los detalles de la construcción de los aparatos electrónicos y los elementos de los esquemas; por la otra, el conjunto de muchos

procesos que transcurren al mismo tiempo, su complicada correlación. No se pueden comprender estos procesos, sin conocer las leyes y los detalles de la construcción. Y, al mismo tiempo, aún conociendo todos los elementos, algunas veces sucede que no es tan sencillo enlazarlos entre sí.

Con uno de dichos procesos ya se ha encontrado el lector. Este es el proceso, en el que el impulso eléctrico invisible se representa en la pantalla del tubo mediante el haz electrónico. Aquí se modifica simultáneamente la corriente en la lámpara, la corriente en el condensador, la tensión en las láminas y la trayectoria de los electrones que forman el haz.



Existen muchos procesos semejantes en la electrónica. Y para comprender como ellos transcurren en los esquemas, es necesario tener en cuenta una multitud de sucesos que transcurren simultáneamente y enlazarlos entre sí.

Al crear el proyecto de un nuevo edificio el arquitecto se lo imagina en el espacio. Los especialistas en electrónica, al crear cualquier aparato deben imaginar claramente no solo en el espacio, sino también en el tiempo, hacerse una idea de como circula el flujo de electrones, como las ondas electromagnéticas continuamente pulsantes, engendradas por dicho flujo, llenan instantáneamente el espacio, como en cualquier instante en las diferentes zonas del espacio dentro de los complicados aparatos electrónicos, las ondas y los electrones interactúan entre sí.

Y a nosotros, tras los especialistas en la electrónica, nos es inminente recorrer todo el camino desde los primeros dispositivos electrónicos más simples hasta los

complicados aparatos modernos, tales como, por ejemplo, el tubo de onda progresiva, el klistrón, el magnetrón.

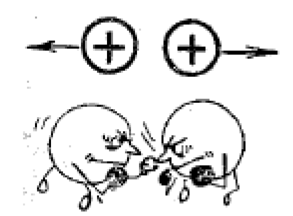
Hasta ahora se ha hablado solamente de los electrones. Ahora debemos familiarizarnos con las ondas, porque la base fundamental de la electrónica consiste en la interacción de los electrones y las ondas.

Capítulo 2
¿Cómo se descubrieron las ondas?

En el presente capítulo al lector podrá conversarse de que en la electrónica el campo no es menos importante que el electrón. Conocerá las ondas, las cuales fueron descubiertas antes de que se manifestaran; comprenderá de qué forma funcionaba la radio al margen de los principios de la electrónica y cuáles eran sus posibilidades.

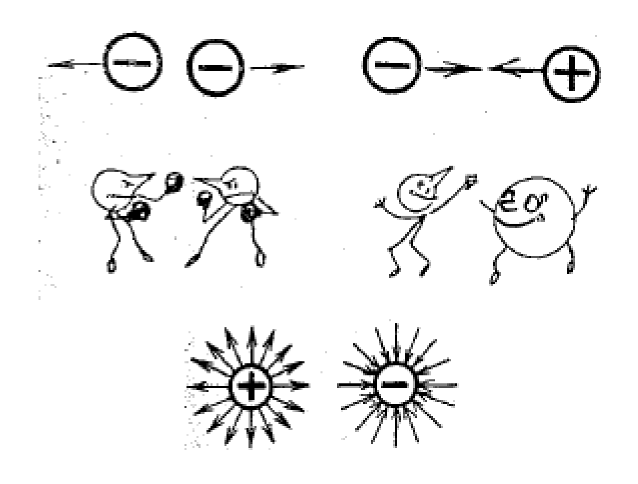
Contenido:

Alrededor de las cargas no hay vacío
§ 2.1



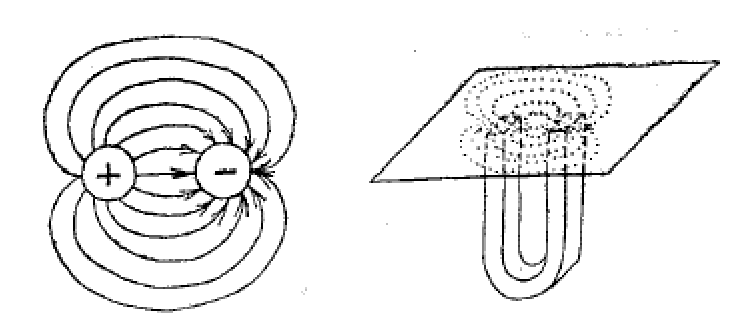
Las cargas eléctricas están rodeadas por campos de fuerzas eléctricas. La atracción mutua de las cargas, que tienen distinto signo, o la repulsión de las cargas de igual signo se determina por la interacción de estos campos.

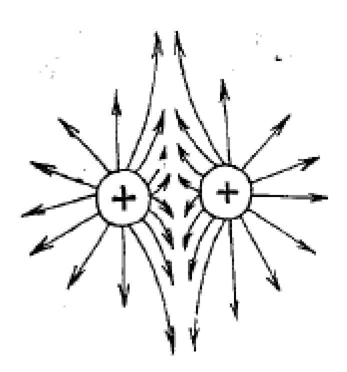
Las fuerzas, que actúan en el espacio alrededor de una carga, se representan convencionalmente con flechas. Se considera (también convencionalmente) que las flechas salen del cuerpo cargado positivamente y entran al mismo cuando su carga es negativa.



§ 2.2

Esta es la forma que adopta un campo eléctrico formado por cargas de distinto signo. Al lado tenemos un campo alrededor de los polos de un imán.





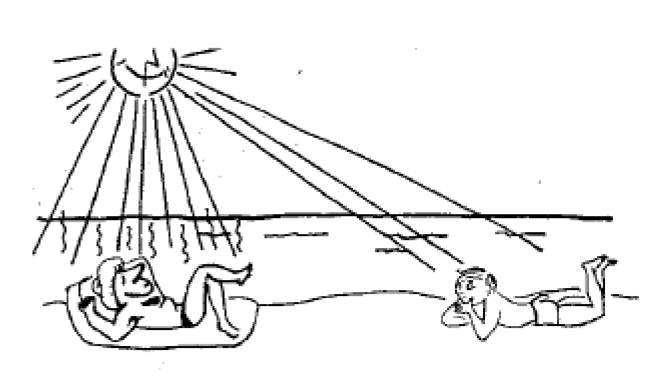
No es difícil observar la semejanza que existe entre los campos eléctricos y magnéticos.

§ 2.3

Así quedan distribuidas las líneas de fuerza de un campo eléctrico en el caso de un choque entre dos cargas, con un mismo signo. Las líneas de fuerza como si se opusieran al acercamiento de estas cargas a semejanza de los muelles elásticos.

§ 2.4

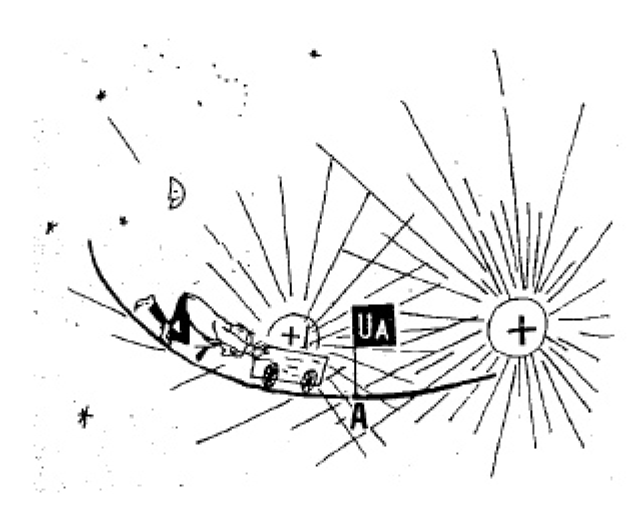
La carga es semejante al sol, y las líneas de fuerza a sus rayos. Cuanto más lejos del sol, tanto menor es la cantidad de rayos que recibe cada superficie, tanto más débil es la acción conjunta de un cuerpo cargado de electricidad y de una carga puntual.



Para vencer la reacción de un campo durante el acercamiento de cargas de igual signo, es necesario gastar energía y realizar un trabajo.

§ 2.5

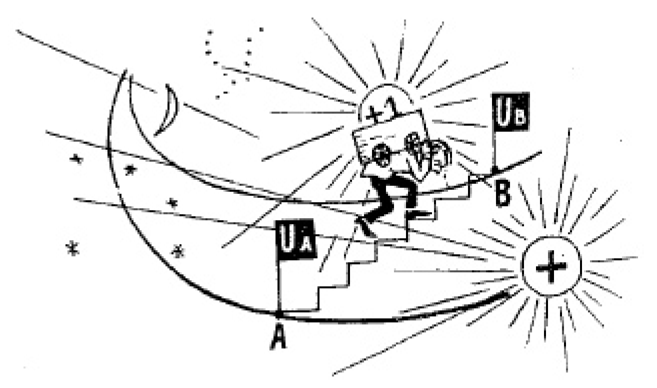
Prueben imaginarse el infinito. ¿Verdad que es difícil?



Y ahora imagínense que "alguien", llevando consigo una carga unitaria, recorrió con ella un camino desde el infinito hasta el punto A, que se encuentra en el campo de la carga inicial.

El trabajo que tuvo que realizar nuestro "alguien" para trasladar la carga unitaria desde el infinito hasta el punto A del campo de nuestra carga, determina precisamente el potencial del punto A (que se designa por U_A).

§ 2.6



La travesía desde el infinito hasta el punto B exige otro consumo de energía, por eso el potencial U_B se diferencia del potencial U_A. El infinito es una idea no muy perceptible.

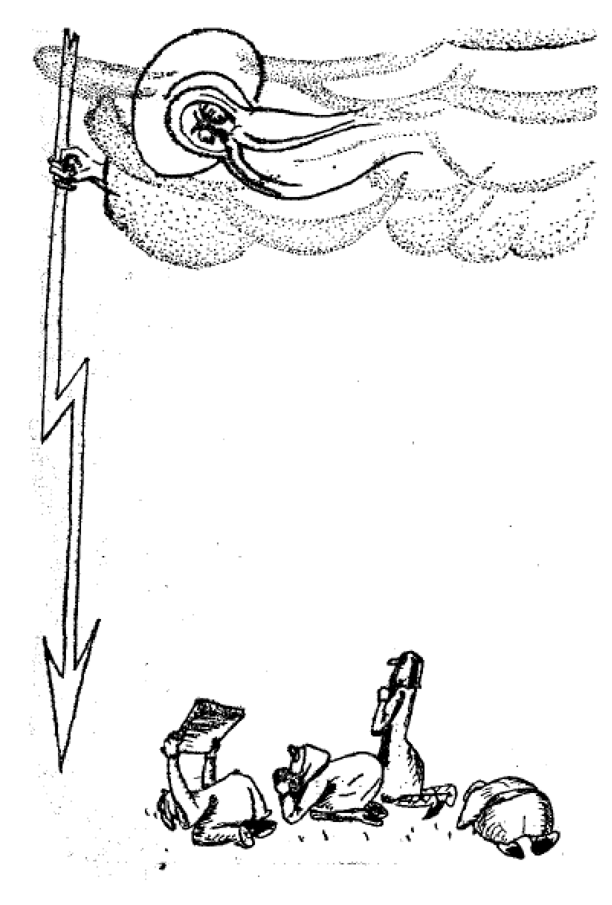
En cambio ahora, cuando la travesía desde el infinito hasta los puntos A y B fue recorrida por nosotros con éxito, todo se hace más evidente: el trabajo que hay que realizar para trasladar una carga unitaria desde el punto A al punto B, es igual a la diferencia de los potenciales U_A y U_B, es decir (U_A - U_B).

Los hilos conducen al pasado

Debido a la ligazón indisoluble de la teoría con la práctica aumenta el majestuoso "edificio" de la electrónica, como cimiento del cual sirve el pequeño a invisible electrón.

Pero si en este cimiento se encontraran solamente los electrones, nadie podría construir ningún "edificio" majestuoso. Antes de crear la electrónica, los hombres tuvieron que acumular "ladrillo por ladrillo" una gran cantidad de información sobre las cargas, su movimiento, su acción mutua con el campo, las propiedades de los campos eléctricos y magnéticos, las leyes de inducción, las corrientes alternas y

continuas, la fuerza electromotriz, la influencia de la corriente sobre la aguja magnética y como se comportaría un conductor con corriente si se le acercara un imán.



Más tarde, el poderoso raciocinio de Maxwell, después de asimilar todas estas informaciones, obtenidas minuciosamente en centenares de laboratorios, percibe la ligazón indisoluble de la electricidad y el magnetismo, la reflejó en un sistema armonioso de sus ecuaciones y pronosticó el descubrimiento de las ondas electromagnéticas.

Después de la muerte de Maxwell estas ondas fueron obtenidas por Hertz.

Popov las utilizó para la comunicación inalámbrica.

El desarrollo ulterior de la radiocomunicación llevó a la creación de los diodos, tríodos y otros instrumentos electrónicos y lámparas.

Tal es la prehistoria de la electrónica. ¿Y con qué se inició la propia electrónica? ¿Puede ser que con el descubrimiento del electrón? No, el descubrimiento de Helmholtz no sirvió de comienzo del desarrollo de la electrónica, puesto que a los electrones en aquel tiempo nadie los podía gobernar.

Ayudó a gobernarlos el tubo electrónico. Pero tampoco este creó la electrónica: hasta que no aparecieron en el mundo las lámparas electrónicas, el tubo electrónico llevaba una vida tranquila, encerrada entre las paredes de un templo de pura ciencia, y aparte de un grupo limitado de físicos, para nadie era conocido.

¿Puede ser qué el nacimiento de la electrónica deba ser enlazado con el descubrimiento de la lámpara de tres electrodos? ¿Pero, para qué Lee de Forest introdujo su rejilla? Resulta, que para controlar a los electrones con ayuda de un

campo. Por lo tanto, antes de crear los triodos fue necesario investigar las propiedades de los campos.

¿Y para que fueron necesarios los triodos? Para perfeccionar la radiocomunicación. El transmisor de Popov poco se parecía al actual: él podía transmitir solamente el alfabeto Morse en forma de sobresaltos cortos de radio-ondas. Sobre la transmisión de una conversación, de música, de imágenes, no tenía sentido ni hablar. Todas estas posibilidades surgieron después de aparecer el tríodo.

Así pues el tríodo permitió perfeccionar el principio descubierto por Popov. Popov utilizó las ondas obtenidas por Henry Hertz. Hertz corroboró la idea genial de Maxwell. Maxwell generalizó los hechos obtenidos por Faraday.

Y Faraday...

De nuevo se tiende el hilo al pasado. ¿Dónde se encuentra su comienzo? Este se pierde en la antigüedad.

La barrita de ámbar

Hace tiempo que para las personas es conocido el principio de la electricidad. Desde tiempos inmemoriales se les presentaba con la fisonomía amenazadora del trueno y el relámpago. Desconociendo la naturaleza de la tormenta, nuestros antepasados lo tomaban como una manifestación de ira de los dioses. Aún a los más valientes de los antiguos pensadores no les vino a la mente el pensamiento audaz de reprimir esta fuerza y hacerla útil para la humanidad.

El segundo fenómeno eléctrico, con el cual chocó el hombre, tenía un carácter tan inofensivo que era difícil descubrir en él algo en común con las manifestaciones de las espantosas tormentas.

La barrita de ámbar frotada con un tejido de lana, atraía ligeros objetos: pelusilla, trocitos de papel, etc. Según el testimonio del antiguo filósofo griego Tales de Mileto, que vivió en el siglo VI a.n.e. este fenómeno fue descubierto por tejedoras que elaboraban la lana. Tal vez esto fuera conocido mucho antes por otras personas, pero nosotros encontramos por primera vez una descripción exacta de hechos semejantes, cuya naturaleza no estaba clara para nadie en aquellos tempos, en los trabajos del sabio de Mileto.

E incluso hasta fines del siglo XVIII no se realizó ni una tentativa de investigar más profundamente estos fenómenos y aclarar su esencia. Pero en el siglo XIX la electricidad se hizo la base del progreso, parte integrante de todos los logros de la técnica y la teoría científica, que ponen en claro la estructura de nuestro mundo. Ya a nadie le asombraba el hecho de que con unas mismas fuerzas se crean, al parecer, fenómenos completamente diferentes entre sí: la interacción de las partículas dentro del átomo y el movimiento de los potentes electromotores, el relámpago y la atracción de los hilos de la lana por la barrita de ámbar.

La electricidad comenzó a manifestarse en todos los lugares. Pero, no porque se puso de moda, sino porque la mayor parte de los fenómenos que surgen en nuestro mundo, de hecho, se rige por fuerzas magnéticas y eléctricas.

Además de estas, la ciencia conoce solamente la fuerza de inercia, las fuerzas de gravitación universal (denominadas fuerzas gravitacionales) y las fuerzas que actúan dentro del núcleo del átomo.

Las fuerzas nucleares tienen un pequeño radio de acción y su influencia no se extiende más allá de los límites del núcleo. Las fuerzas gravitacionales en el átomo actúan débilmente-este es demasiado liviano para sentir la atracción de la Tierra. Y solamente las fuerzas electromagnéticas participan exitosamente en las interacciones de los átomos y las moléculas. De estas fuerzas depende la estructura de los átomos y de las moléculas, su influencia recíproca, el curso de todas las transformaciones químicas, la estructura de los cristales, las propiedades de los distintos cuerpos físicos.

El siglo de la electricidad, no es solamente la época de los potentes motores y generadores o de los instrumentos de medición de alta precisión, sino también es una nueva concepción del mundo, un nuevo punto de vista sobre la naturaleza de muchos fenómenos, condicionados por la interacción de los campos magnéticos.

Y todo comenzó con la barrita de ámbar. Incluso el propio nombre -electricidad- proviene de la barrita de ámbar: “ámbar” en griego significa “electrón”.

¿Sienten hasta que punto les pareció limitado al principio el concepto de “electricidad"? Algo parecido a las “fuerzas ocultas en el ámbar". En cambio después estos límites se ampliaron tanto, que en ellos entra todo el mundo. En efecto, este

consta de átomos y moléculas, y ellos subsisten come un todo, gracias a la interacción de las fuerzas electromagnéticas.

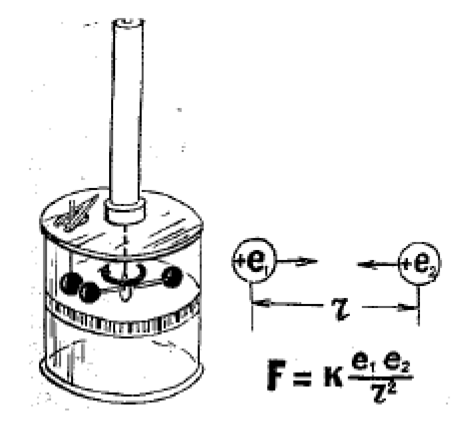
Tal es, en pocas palabras, el camino de la ciencia respecto a la electricidad: al principio -la barrita de ámbar al final -el mundo inmenso e inagotable. Bien habló en cuanto a esto el poeta francés Paul Valery: "Que puede ser más incomprensible para la inteligencia, que la historia de un trocito de ámbar, el cual dócilmente revela la fuerza oculta en toda la naturaleza, y, que posiblemente represente a toda la naturaleza y que en el curso de todos los siglos, excepto este último, se revelaba solamente en él".

Primera Ley

¿Qué es, sin embargo, lo que ocurre con la barrita de ámbar cuando la frota con un paño de lana? Solamente a fines del siglo XVIII la ciencia dio más o menos una respuesta exacta: la barrita se carga con electricidad. ¿Y qué es la electricidad? ¿De dónde surgió?

En el siglo XVIII la ciencia no podía dar respuesta a éstas preguntas. Ella se limitaba a constatar los hechos.

En el año 1734 un científico francés llamado Du Fay estableció que existían cargas de dos tipos: una de ellas surgía en la misma varita de ámbar al frotarla con un paño de lana. Y por cuanto el ámbar no es otra cosa sino alquitrán petrificado de los árboles, Du Fay denominó a este tipo de carga electricidad de alquitrán. Al otro tipo de cargas que surgía como resultado de la frotación de la piel con una barrita de vidrio lo denominó electricidad del cristal.



En adelante, para diferenciar estas cargas se les comenzó a designar convencionalmente con los signos "menos" y "más", que se conservaron hasta nuestros días.

Se determinó que los cuerpos que poseen cargas de igual signo se repelen y los de cargas diferentes se atraen (véase § 2.1).

En 1775 Coulomb realizó el primer experimento cuantitativo, con el objetivo de determinar de que dependen las fuerzas de atracción mutua entre dos cargas puntuales (Coulomb llamaba a estas fuerzas fluidos eléctricos) y cual es la magnitud de estas fuerzas. ¿Y que significa la carga puntual? ¿No tendría en cuenta Coulomb el electrón?

No, Coulomb no tenía ni la menor noción acerca del electrón. Él denominaba puntual a cualquier cuerpo cargado cuyas dimensiones fueran considerablemente menores que la distancia hasta otros cuerpos cargados. Era necesario determinar como depende de la distancia la fuerza de atracción mutua de los cuerpos puntuales cargados. Al mismo tiempo era necesario tener en cuenta la magnitud de la carga obtenida por cada cuerpo: en efecto, la fuerza es tanto mayor cuanto mayor es cada carga. En aquel tiempo medir la fuerza se sabía con bastante exactitud. En particular, Coulomb midió la fuerza de atracción entre dos cargas con ayuda de balanzas de torsión construidas especialmente.

Medir la distancia entre dos cargas era aún más difícil. ¿Pero, qué hacer con las cargas? Antes de Coulomb nadie probó medirlas. No existía ninguna unidad para medirlas, ningún instrumento que permitiera comparar las entre sí.

Coulomb procedió con mucha agudeza. Tome dos bolitas cargadas y determinó con que fuerza ellas se atraen. Después tomó una tercera, descargada, y la obligó a hacer contacto con la cargada. La bolita cargada en el instante del contacto le transmitió exactamente la mitad de la carga, debido a que ambas bolitas estaban hechas del mismo material y eran de una misma dimensión. Después de esto la fuerza disminuyó el doble. Luego Coulomb comenzó a aumentar la distancia entre las bolitas 2, 3, 4 y 5 veces. La fuerza comenzó a disminuir 4, 9, 16 y 25 veces respectivamente.

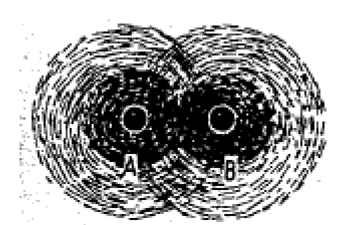
Así se descubrió la by de interacción de dos cargas puntuales: la fuerza de interacción es directamente proporcional a las magnitudes de las dos cargas e inversamente proporcional a la distancia, elevada al cuadrado.

En honor a este experimento la Ley se denominó Ley de Coulomb. Y las unidades con las cuales se comenzaron a medir las cargas, también se llaman culombios. En comparación con la carga de un electrón el culombio es un verdadero gigante: un cuerpo debe obtener 6.290.000.000.000.000.000 electrones para adquirir la carga de un culombio. Es una cantidad enorme. Si en el transcurso de cada segundo se le entrega a un cuerpo un millón de electrones, entonces la carga de un culombio se acumula solamente al transcurrir 200 días.

¿De qué está lleno el vacío?

Así surgió gradualmente la ciencia. Inicialmente solo se conocía el hecho de la atracción de las cargas de distintos signos, después fue descubierta la rigurosa ley cuantitativa. Apareció la primera fórmula a la cual se subordina el comportamiento legalizado de dos cuerpos cargados. Por esta fórmula se puede determinar la fuerza con la cual se atraen las cargas que tienen distinto signo. ¿Pero por que ellas tienden una hacia la otra? ¿De qué manera un cuerpo actúa sobre otro aunque entre ellos no hay nada más que espacio vacío? ¿Puede ser que un cuerpo que posee una carga sienta de alguna manera a distancia la presencia de otra carga? ¡El cuerpo es "atraído por una fuerza desconocida" hacia las cargas que tienen signos opuestos!

Así aproximadamente aplicaba estos fenómenos la teoría de la acción a largas distancias, que existían aquellos tiempos. ¿Pero, acaso esto es una explicación? ¡Se puede pensar que se trata del sentimiento de dos enamorados y no de la interacción entre cuerpos físicos!



Y no obstante, la ciencia no podía ofrecer en aquel tiempo nada más comprensible. La electricidad era aún para la ciencia muy poco conocida. ¡Otra cosa es la mecánica! Aquí todo es evidente: los cuerpos accionan uno sobre otro mediante el choque, la presión, la tracción, etc. La fuerza no se manifiesta antes de que los cuerpos hagan contacto. Y, por otra parte... ¿Acaso todo cuerpo mecánico

no siente a distancia la fuerza de atracción de la Tierra? La Tierra actúa a distancia sin vástagos, sin tirantes, sin palancas. ¿Por que?

Sobre un cuerpo que posee masa actúa la fuerza de la gravedad. Una carga que se encuentre cerca de otra carga, también está sometida a la acción de fuerzas. ¿Y no es posible imaginarse estas fuerzas claramente?

Resulta que es posible. Precisamente eso lo hizo por primera vez Faraday. El rodeó a un cuerpo cargado con electricidad de flechitas que señalaban la dirección de la acción de las fuerzas (véase § 2.1).

Cada carga posee una "esfera de influencia" determinada. A partir de ella se extienden en el espacio las fuerzas, como del Sol se esparcen los rayos (véase § 2.5).

¡Este es el secreto de la influencia a través del espacio!

¡El espacio alrededor de las cargas deja de ser vacío! A su alrededor surge un campo: el campo de acción de las fuerzas. No hay ninguna acción a distancia: las fuerzas actúan aquí a una proximidad inmediata. En cada punto del espacio existe un campo que actúa sobre las cargas en él introducidas.

Esto fue una conjetura genial. Aún el propio Faraday no pudo adivinar que consecuencias traería esta profunda idea de largo alcance.

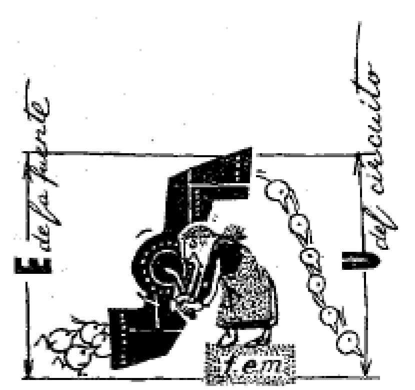
Los electrones trabajan colectivamente

§ 2.7

La carga y la masa de un electrón son tan ínfimas, que el trabajo realizado por un electrón nadie lo podría percibir. Pero el electrón nunca trabaja en soledad. Al conectar una fuente de energía a un trozo de cable, todos los electrones se ponen inmediatamente en movimiento por muy largo que sea nuestro conductor.

§ 2.8

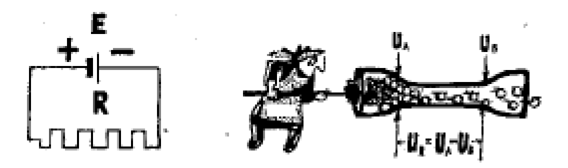
Hasta en el caso en que la longitud del conductor sea de 300 000 kilómetros y que pueda rodear el Ecuador siete y media veces se necesita solo un segundo para que el impulso de la corriente que nace en uno de los extremos de este conductor, llegase al otro extremo. Esto, claro está, no significa que los electrones



hayan atravesado en un segundo todo el camino de 300 000 kilómetros de longitud. Sencillamente ellos se ponen en movimiento, prácticamente al mismo tiempo, como los soldados puestos en fila, al iniciar la marcha después de la voz de mando "¡de frente, mar!".

§ 2.9

El circuito eléctrico consta de tres elementos fundamentales: la fuente de tensión (E), la carga (R) y los conductores do conexión. El circuito exterior (conductores y carga) posee una resistencia determinada. Gracias a la energía que posee la fuente, esta puede "empujar" a los electrones a través de esta resistencia. La capacidad de la fuente de "empujar" por el circuito interior a la electricidad, se denomina fuerza electromotriz E, abreviadamente f.e.m.



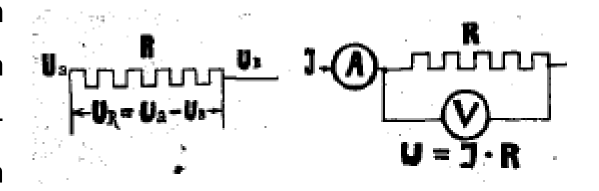
§ 2.10

La corriente que circula por el circuito exterior crea en él una caída de tensión (U_{circ}).

La caída de tensión en todo el circuito siempre es igual a la fuerza electromotriz de la fuente, es decir, $E = U_{circ}$.

§ 2.11

Los conductores poseen habitualmente poca resistencia. Principalmente la tensión cae en la carga R. Los electrones que pasan por aquí crean en los extremos de la resistencia una diferencia de potencial, $U_A - U_B$. Ésta diferencia de potencial es igual a la caída de tensión, es decir, $U_R = U_A - U_B$. La intensidad de la corriente J y la caída detención (U_R) están relacionadas por la conocida Ley de Ohm:



$J = U_R/R$

La intensidad de la corriente depende de la cantidad de electrones que pasan en un segundo a través de la resistencia R.

Siendo la corriente igual a 2 miliamperios (esto es, una 10 milésima parte de amperio), a través de la sección transversal del conductor correrán en menos segundo una "multitud" de electrones igual a 63 mil billones de unidades (63 x 10^{15}). Tal cantidad de electrones pasa aproximadamente en el transcurso de cada segundo a través de los triodos o diodos. En el filamento de la lámpara de alumbrado, donde la corriente alcanza partes de amperio, la multitud de electrones es aún 50 veces mayor.

§ 2.12

El electrón, al pasar a través de una resistencia pierde energía, la cual se libera en forma de calor. La cantidad de calor que desprende un electrón es tan pequeña que no se puede percibir. Pero la “colectividad” de electrones es capaz de calentar una resistencia a una temperatura muy alta. Existen una serie de consumidores de energía eléctrica, por todos conocidos, en los cuales la energía de los electrones en movimiento se desprende en forma de calor.

Todo consumidor posee alguna resistencia en la cual cae una tensión determinada:

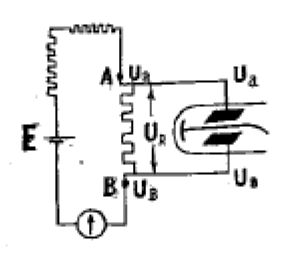
$U_R = U_A - U$.



Nosotros ya conocemos que la energía depende de la diferencia do potencial (véase § 2.6). Además, de acuerdo con la Ley de Ohm, la “colectividad” de electrones, que pasan a través de la resistencia R, será tanto mayor, cuanto mayor sea U_R (véase § 2.11). Así pues, al aumentar la tensión U_R aumenta el gasto de energía de cada electrón y se eleva el número de electrones. Por eso la potencia P, presente en la carga, crece como el cuadrado de U:

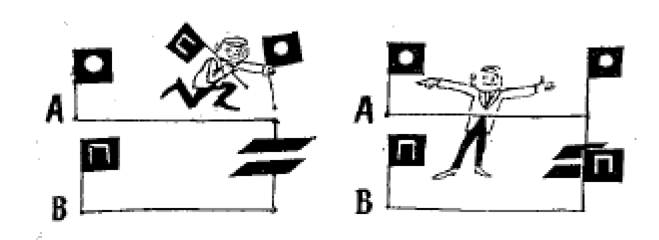
$$P = (U_R)^2/R$$

§ 2.13



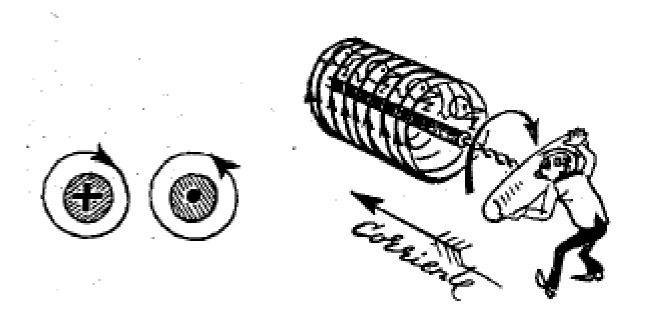
Si conectamos a los extremos A y B una resistencia R, por la cual pasa corriente, que gobiernan las placas del tubo, entonces el potencial de una de las placas se hace igual a U_S, y el de la segunda a U_B (a condición de que la resistencia de los conductores de conexión es tan insignificante que se puede despreciar).

En este caso se dice que la tensión $U_R = U_A - U_B$ fue “quitada” de la resistencia R y “dada” a las placas. Si damos tensión a la entrada de la lámpara electrónica (entre el cátodo y la rejilla) y la quitamos de la resistencia conectada a su ánodo, entonces la tensión será intensificada varias veces (véase § 1.34).



§ 2.14

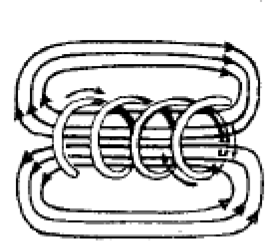
Los electrones, que corren por el conductor, además de calor, crean otro tipo de energía, la energía de campo.



El conductor con corriente siempre está rodeado por líneas de fuerza del campo magnético. La dirección de las líneas coincide con la de rotación de la cabeza de la barrenilla, si esta última se atornilla en la dirección en que corre la corriente. (A propósito, observemos que en todas las reglas en base a las cuales se determina la interacción de la corriente y el campo

magnético, figura la corriente técnica. Ésta corre al encuentro del movimiento de los electrones. Semejante, "confusión" tiene un principio histórico: estas reglas surgieron antes de que fuera descubierto el electrón).





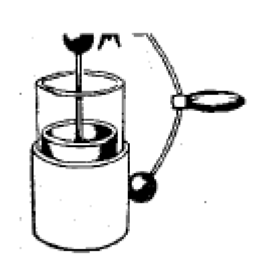
§ 2.15

En un conductor enrollado en forma de espiral, las líneas magnéticas también trabajan "colectivamente". Sus esfuerzos se acumulan en un flujo común dirigido a lo largo del eje. Se ha obtenido el así llamado solenoide. Si lanzamos una fuerte corriente por las espirales del solenoide e insertamos en su interior un núcleo con buenas propiedades magnéticas, este se convertirá en un potente electroimán.

Un relámpago en un tarro

En la época de Faraday la ciencia sobre la electricidad se desarrollaba a un ritmo vertiginoso. Cualquier descubrimiento encontraba aplicación y servía de alimento para nuevas búsquedas e ideas.

Coulomb investigó las propiedades de las cargas unas cuantas décadas antes. Nadie sabía en aquellos tiempos que hacer con las cargas: puesto que no había todavía fuentes de corriente y nadie se imaginaba que estas cargas se podían transportar a través de los conductores. Pero entonces se conocía bien la mecánica. Por eso, para comenzar, se decidió que de principios lo mejor de todo era recurrir a su ayuda. En lugar de frotar con las manos la barrita de ámbar, se decidió fabricar una rueda especial. La propia barrita se sustituyo por un tarro de vidrio grande, el cual se cubrió por dentro y por fuera con una capa de plomo. De esta forma en los laboratorios de la ciudad holandesa Leiden surgieron los primeros condensadores conocidos bajo el nombre de botellas de Leiden. Se suponía que esta máquina comenzaría a generar "electricidad liquida" invisible, y que la botella de Leiden se llenaría de ella hasta los bordes.



La mecánica no falló. Si el peine al frotar los cabellos es capaz de crear chispas de carga eléctrica apenas visibles en la oscuridad, entonces, con la ayuda de la rueda

en la botella de Leiden se lograba obtener grandes cargas. Estos experimentos estuvieron tan de moda, que se realizaban no sólo a los laboratorios, sino que también en los salones de los aristócratas y en los palacios de los reyes.

Luis XV ponía a los soldados en forma de circuito y se entretenía observando las muecas cuando la corriente de la carga de la botella de Leiden pasaba por este circuito vivo. Ante los ojos del público admirado, extraían de las botellas chispas, semejantes a los relámpagos. La aristocracia se admiraba: "¡Qué maravilla, un relámpago en un tarro! ¡Qué cosa no es capaz de hacer la ciencia!" Pero el asunto no paso de ahí.

Otra cosa fue en la época de Faraday. Sobre los fenómenos eléctricos y magnéticos se concentro el pensamiento científico de vanguardia. Ampère y Davy, Volta y Ohm, Oersted y Helmholtz desde distintas direcciones abordaron los mismos problemas. Las ideas flotaban en el aire, como la electricidad en vísperas de la tormenta. Esto ya no era la ciencia por la ciencia, no era ya una curiosidad individual: la práctica plantea insistentemente objetivos ante la ciencia, exige de ella la solución de nuevos y nuevos problemas.

¿Y si durante la solución de estos problemas la ciencia tropieza con algo desconocido? ¡Bueno, tanto mejor! Esto significa que habrá un nuevo terreno para nuevos trabajos prácticos.

De esta forma la electrólisis, creada para la separación de los metales y gases puros, ayudó a descubrir al electrón. Esos mismos procesos químicos fueron la base para las primeras fuentes de corriente que surgieron como resultado de los descubrimientos de Galvani y Volta, los cuales entraron así en uso bajo los nombres de fuentes de corriente galvánicas o baterías de Volta.



Con la aparición de estas fuentes, el interés sobre la electricidad creció extraordinariamente. Se aprendió a transmitir las cargas por un conductor e inmediatamente se observó que la corriente que circula por el conductor desprende calor. Y que al calor se le puede obligar a realizar un trabajo, esta idea fue bien asimilada y ocasiono una verdadera revolución en la técnica, la cual hizo famoso al siglo pasado.

¿Semejanza o parentesco?

Faraday no tuvo ni la menor idea sobre la electrónica. Coulomb, aún menos. Y, sin embargo, ellos desempeñaron en su desarrollo casi el papal más importante. Coulomb estudió las cargas. Faraday introdujo en la ciencia el concepto del campo. ¿Y en que se aplica la electrónica?

En muchas cosas. En los satélites, en la televisión, en las máquinas computadoras y en muchas otras cosas. Pero si se observa atentamente, entonces, todas estas variedades pueden ser reducidas a diversos casos de interacción de las cargas, investigados por Coulomb, y de los campos, descubiertos por Faraday.

Es cierto, que además de los campos de Faraday, la electrónica se ve obligada a investigar otros campos. Faraday estudió los campos formados por cargas fijas.

Estos son semejantes a las dunas de arenas inmovilizadas por la ausencia total de viento.



En los aparatos electrónicos, las cargas son extraordinariamente móviles. Los electrones emitidos por el cátodo, corren hacia el ánodo en un flujo continuo. Desde el ánodo, por el conductor y otros elementos, hacia otros aparatos, hacia otros conductores. Y el campo corre insistentemente tras los electrones como una sombra. Esto ya no es un campo inmóvil. Él se modifica al cambiar la corriente. El

espacio alrededor de los conductores con corriente alterna, ya no se parece a las dunas inmóviles, es más bien semejante a un mar agitado con un movimiento continuo de las ondas. Estas son las ondas electromagnéticas.



El campo electromagnético. Las ondas electromagnéticas. En estos conceptos se fusionaron dos fenómenos diferentes pero enlazados inseparablemente por la naturaleza, -la electricidad y el magnetismo.

Esta relación no se pudo descubrir de inmediato. Al principio fue apreciada su semejanza. La barrita de ámbar atrae los trozos de seda. El imán atrae las limaduras de hierro. La carga está rodeada por el campo eléctrico. El campo magnético rodea al imán. El campo no es una fantasía de Faraday. Si ustedes quieren percibir un campo magnético, viertan en una hoja de papel limaduras de hierro y coloquen por debajo un imán, al momento surgirán aquellas mismas líneas de fuerza, que fueron representadas en los dibujos por el propio Miguel Faraday (véase § 2.2).

Fueron observadas las diferencias: la carga positiva y la carga negativa pueden existir independientemente una de la otra. Pero los polos del imán no se pueden separar uno del otro. Se puede romper el imán en dos partes y, de todos modos, cada pedazo tendrá sus polos norte y sur. El imán se parece a un dragón fabuloso: le cortas la cabeza y le crece una nueva.

Observamos al mismo tiempo, que posteriormente fue descubierta la capacidad de algunas sustancias de conservar las cargas eléctricas estáticas, a cuenta de una determinada orientación de las moléculas o iones. Tales cuerpos se denominan electretos. Al romper por la mitad una barra de electreto, obtenemos en cada pedazo dos polos “más” y “menos”.

Así coexistieron en la ciencia dos fenómenos, en algo muy parecidos y en algo distintos uno del otro: la electricidad y el magnetismo. Estos se investigaban por separado, independientemente uno del otro, hasta el momento en que se reveló la relación que existe entre ellos. En ayuda acudió una ocasión propicia. En el año 1819 el científico danés Oersted demostraba a los estudiantes unos experimentos sobre la electricidad. Junto al conductor se encontraba una brújula que no tenía ninguna relación con el experimento.

¿Y por qué la aguja de la brújula se desvía, cuando usted conecta la corriente? -le preguntaron al lector. Y con esta pregunta sumieron en profundas reflexiones, no solo a Oersted, sino también a todo el mundo científico de aquella época.
Aquí había en que meditar. La corriente eléctrica, que circula por el conductor, engendró un campo magnético. Existían dos fenómenos diferentes, e inesperadamente se descubre que entre ellos existe una relación indisoluble.

En pos de Oersted

La noticia acerca de los experimentos realizados por Oersted, recorrió el mundo en un tiempo muy breve. El conductor con corriente, en aquel tiempo, atraía no solo la aguja magnética; el pensamiento de los científicos en todos los países se dirigía nuevamente a este conductor. Y no por casualidad: todos comprendían que el mundo se encontraba en el umbral de nuevos descubrimientos, a pesar de que incluso en esencia del primer experimento, si a primera vista no muy complicado, nadie lo podía explicar completamente.
¿Qué es lo que obliga, sin embargo, a que la aguja se desvíe del conductor? El propio Oersted suponía que la aguja gira a causa de la electricidad, la cual, al parecer, se traslada no sólo por dentro, sino también alrededor de los conductores. Ampère plantea otra hipótesis. Él considera que la corriente circula dentro de la aguja imantada y que aquí actúan recíprocamente dos corrientes: la corriente que circula por el conductor, y la de la propia aguja.



¿Quién de ellos tiene razón? ¿Puede ser que se equivoquen los dos? Se necesitaban nuevos experimentos para confirmar o rechazar las hipótesis, para poder aclararlas hasta el final.
En Paris, en Londres, en Petersburgo, en Florencia, en Munich, en Heidelberg, en Ginebra, se repite sin cesar el experimento de Oersted: junto a la aguja se dispone un conductor y a continuación se conecta corriente. Y cada vez la aguja se comporta de la misma manera, apenas la corriente aparece en el conductor, esta toma la posición transversal.

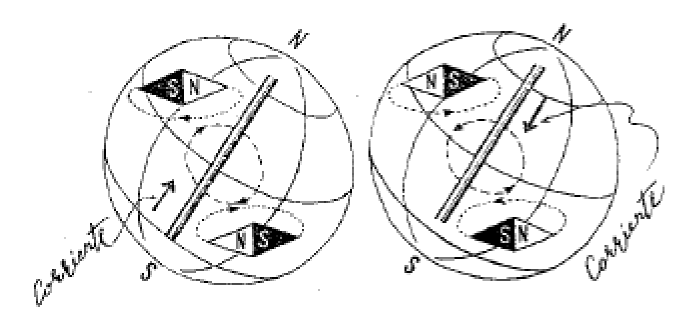
El gran Ampère, inspirado por el descubrimiento de Oersted, se encierra en el laboratorio para investigar como interactúan las cargas una sobre otra, si estas no se encuentran en reposo, sino que circulan por los conductores. A propósito, esto no era costumbre de Ampère. Hasta ahora, todos sus descubrimientos los realizaba por escrito, y como laboratorio de investigaciones siempre prefirió el gabinete. Pero aquí ya no se podía pasar sin un ensayo y cualquier idea era necesario comprobarla minuciosamente.

En los siete informes leídos con brillantez por André Ampère en las sesiones de la Academia Francesa, se encontraban reflejados todos los resultados de sus trabajos. Los siete informes de Ampère, eran como siete columnas en la frontera de dos ramas. Por un lado de la frontera, todo lo que atañe a las cargas estáticas (inmóviles), por el otro, las cargas en movimiento y aquellos fenómenos que creaba la corriente eléctrica.

La primera rama recibió el nombre de electrostática (estática-inmovilidad). Sobre las propiedades de las cargas estáticas se interesó, también Coulomb. La segunda rama, la electrodinámica, ciencia sobre la acción de las cargas en movimiento, fue fundamentada por Ampère con sus trabajos. Al mismo tiempo, él llevó a cabo una serie de brillantes descubrimientos entre los cuales esta el célebre Solenoide de Ampère, en base al cual, el científico americano Henry creó poco tiempo después los electroimanes que levantaban cargas de dos toneladas de peso (véase § 2.15).

¿Hacia dónde girará la aguja?

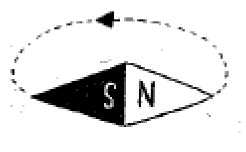
En París, el brillante Ampère fundamentó la nueva ciencia. Pero, al mismo tiempo, Miguel Faraday, el modesto joven, empleado de la Universidad Real de Londres, que recientemente había dejado la profesión de encuadernador, siguiendo a Oersted, coloca también un conductor junto a una aguja magnética y hace pasar corriente por el conductor.



La naturaleza dotó a Faraday de una cualidad sorprendente: él tiende a palpar todo con sus manos, no cree en ninguna conclusión, hasta que el mismo no lo comprueba.

Si, la aguja gira, efectivamente, bajo la acción de la corriente. Pero, ¿qué es lo que la obliga a girar? ¿La corriente que circula por el espacio alrededor de los conductores? ¿O la corriente que rodea a la aguja? No, esto es necesario aún verificarlo.

Si la corriente circula de sur a norte, el polo norte de la aguja magnética dispuesta bajo el conductor con corriente, gira hacia el oeste. (Aquí se tiene en cuenta la dirección técnica de la corriente véase § 1.14). ¿Y si la aguja se coloca por encima del conductor? Ese mismo polo se orientara hacia el este. ¿Por qué? ¿Y si se cambia la dirección de la corriente? Todo se obtendrá al contrario. La aguja bajo el conductor girará hacia el este. La aguja sobre el conductor se orientara hacia el oeste. ¿De qué depende todo esto?





A Faraday le surge una sospecha: ¿puede ser que la corriente origine un campo magnético? Supongamos que alrededor del conductor surgen fuerzas magnéticas en forma de anillos que rodean el conductor (véase § 1.14). ¿Cómo actuarán estos anillos sobre la aguja?

Dos agujas imantadas se atraen mutuamente por los polos de distinto signo. En este caso, sus líneas de fuerza están dirigidas unas al encuentro de las otras. ¿Es posible, que aquí actúe la misma ley?

Supongamos por ejemplo, que la corriente circula de sur a norte y, además, las fuerzas magnéticas del conductor con corriente están dirigidas en sentido de las agujas del reloj. En este caso, las líneas magnéticas de la corriente irán al encuentro de las líneas de fuerza de la aguja magnética, si esta se coloca debajo del conductor, y el polo norte de la aguja esta orientado hacia al oeste. ¡Magnífico, esto confirma plenamente el experimento! Bien, ¿Y si la aguja se coloca sobre el conductor? ¡Para qué las líneas nuevamente sean de dirección opuesta, ese mismo polo de la aguja magnética debe estar orientado... hacia el este!

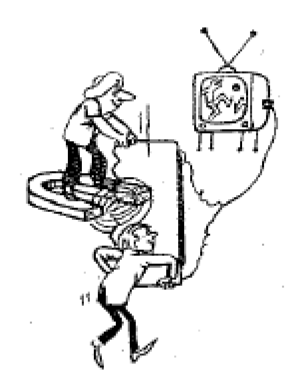
¡He aquí la auténtica realidad! Los fenómenos descubiertos, no hace mucho, por Oersted se explican por la interacción de dos campos magnéticos.

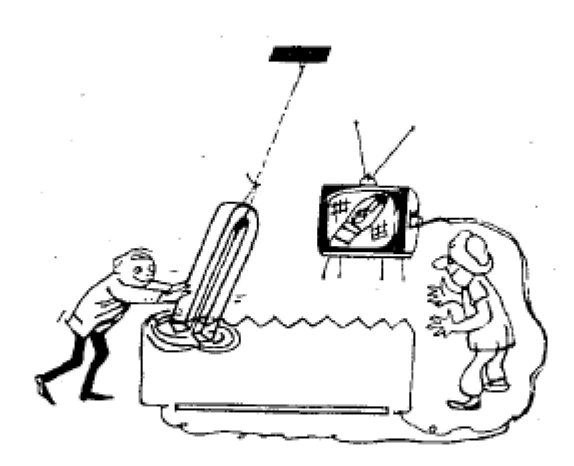
Así fueron descubiertas las causas de la acción del conductor con corriente sobre la aguja magnética. Ahora cada escolar puede decir anticipadamente hacia donde debe girar la aguja; porque en los libros escolares de física va incluida una regla muy sencilla: si la barrenilla se enrosca según la dirección de la corriente, entonces su cabeza girará a lo largo de las líneas de fuerzas magnéticas que rodean al conductor, por el cual circula esta corriente. Si la corriente cambia su dirección, cambiará también su dirección la barrenilla. Entonces, la cabeza de la barrenilla girará hacia el lado contrario, y la aguja comenzará ahora a actuar al contrario. Todo como en los experimentos de Faraday.

No hay inducción sin movimiento

§ 2.16

Al trasladar un conductor cerrado en el campo de un imán, en el conductor se origina (los especialistas dicen: se induce) una corriente la cual se denomina corriente de inducción.





§ 2.17

El conductor puede ser inmóvil. Para obtener en él corriente de inducción, es necesario mover el imán. Así, no importa lo que esté en movimiento, el imán o el conductor, únicamente es necesario que el conductor en el que se induce la corriente corte las líneas de fuerza del campo.

§ 2.18

Sin movimiento no surge corriente. Pero, existen múltiples normas de movimiento. El propio circuito puede ser inmóvil. La corriente de inducción se manifiesta, porque aquí hay otro movimiento: debido a los

cambios de la corriente, que circula por el primer devanado, alrededor de él se produce un cambio del campo magnético. El campo magnético alternativo induce en el otro devanado corriente alterna secundaria.

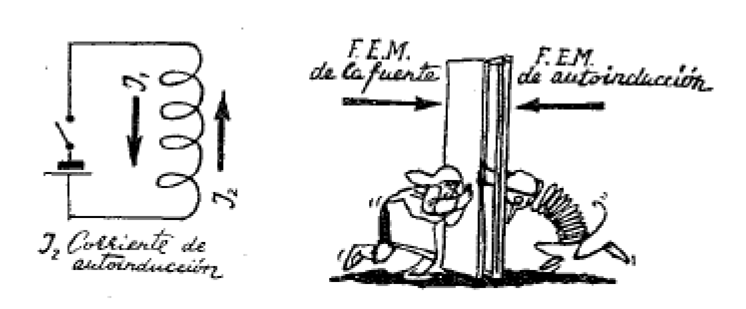
§ 2.19



Exactamente igual funciona el transformador: la corriente alternada en el devanado primario origina el campo magnético variable, y de éste, en el devanado secundario induce la corriente alterna secundaria. Los devanados del transformador habitualmente se enrollan en un núcleo, fabricad de materiales magnéticos, por ejemplo, el hierro. El núcleo amplifica los campos magnéticos que surgen en el transformador.

§ 2.20

La corriente de inducción surge aún en el caso en que no existe devanado secundario. Al conectar la corriente el campo magnético, originado por la corriente creciente, induce en ese mismo devanado, corriente secundaria. Éste fenómeno se denomina autoinducción.

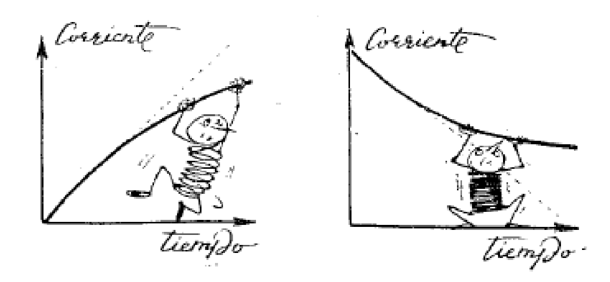


La fuerza electromotriz (f.e.m.) autoinducida siempre impide el cambio de la corriente, que a ella la engendró. Así dice la regla establecida por Lenz.

§ 2.21

Gracias a la corriente de autoinducción la bobina adquiere una propiedad original de inercia: ella parece oponerse a las modificaciones de la corriente que por ella circula. Si la corriente disminuye, la corriente de autoinducción comienza a

mantenerla. Si aumenta, la corriente de autoinducción correrá hacia su encuentro y comenzará a disminuirla.



Cuanto mayor es la inercia de un cuerpo, tanto más difícil es detenerlo o impulsarlo. Cuanto mayor es la inductancia de una bobina, es decir, el número de espiras por unidad de longitud de la bobina, tanto más fuerte es la inercia (autoinducción), tanto más lentamente crece o disminuye la corriente en la bobina. La inductancia tiene sus unidades de medición, las cuales se denominan Henry (en honor del físico Henry).

La intuición de Faraday

El célebre experimento de Oersted confirmó la ligazón de la electricidad y el magnetismo. Existían dos fenómenos distintos: por una parte la electricidad, por la otra, el magnetismo. Y al instante surge un puente. Pero, ¿si es posible pasar por el puente de la orilla izquierda a la derecha, no se podría realizar el camino de regreso? La corriente engendra el campo magnético. ¿Puede ser que el campo magnético sea capaz de crear corriente eléctrica?

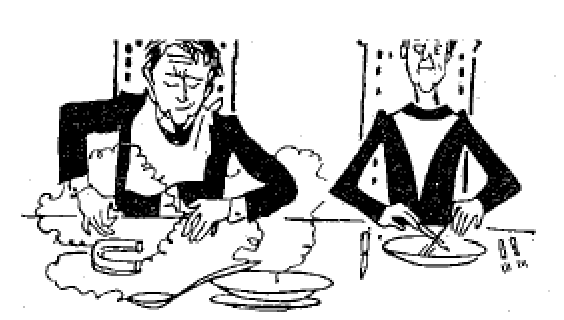
Faraday busca el camino para la obtención de esta corriente. Él conecta a un conductor un galvanómetro y coloca a su lado un imán. En el conductor no surge corriente. ¿Significa eso que esta equivocado? No, aquí hay alguna equivocación. Indudablemente, estos fenómenos son reversibles, la intuición de Faraday le obliga a verificar una y otra vez esta suposición.

Diez años lleva Faraday en el bolsillo un trozo de conductor de cobre y un pedazo de hierro imantado. En el momento más inoportuno, olvidándose donde y con quien se encuentra, Faraday, como un maníaco, saca sus "juguetes" y comienza a colocar de diferentes formas el conductor y el imán. De tiempo en tiempo, él nuevamente

intenta averiguar, con la ayuda de un galvanómetro, el surgimiento de la corriente. Pero la corriente, como antes, no aparece.

Y en todos estos diez años, el sexto sentido del científico (y es posible que hasta el séptimo o cualquier otro de un orden aún más alto) le dictaba incesantemente, que él estaba en el camino de la verdad.

Increíble tenacidad- ¡Tener fe durante diez años en aquello, que con nada se podía confirmar!



El éxito llegó inesperadamente. Cierta vez, él conectó una batería a un conductor, enrollado en forma de espiral sobre un cilindro, e inesperadamente notó que el galvanómetro, que estaba conectado a otro devanado aislado, señaló corriente durante un instante de tiempo. Apenas se note el desvío de la aguja, pero Faraday comprendió al instante lo que no pudo comprender durante diez años.

La corriente de inducción no puede surgir, mientras sea invariable el campo magnético. Para que la corriente surja, es necesario cambiar el campo. Cuando él conecte una batería, instantáneamente surgió el campo magnético, y al momento, guando este aumentaba, Faraday, casualmente, notó que la aguja realizaba un salto. ¿Por casualidad? ¡Graciosa casualidad! ¡En efecto, en la búsqueda de esta casualidad se fueron diez años!

Pero después las cosas marcharon come sobre ruedas. No suponía gran trabajo el adivinar que la corriente de inducción surgirá también en el caso en que la corriente del devanado primario permanezca constante, mientras que el imán se mueva con respecto del conductor (véase § 2.17). O bien permanezca inmóvil el imán, pero se mueva el conductor cruzando aquellas líneas de fuerza que rodean al imán (véase § 2.16).

En todos estos casos, sobre el conductor actúa un campo magnético variable y bajo la acción de este campo, surge en él la corriente.

“La corriente surge solamente durante el movimiento del imán respecto al conductor, y no en virtud de las propiedades que le son inherentes en reposo" - anotó Faraday en su diario científico. En esto radica la esencia de las leyes de la

inducción electromagnética -excitación de las fuerzas eléctricas por las fuerzas magnéticas.

En base a las leyes establecidas por Faraday, fueron creados nuevos y potentes generadores de corriente, donde la corriente surgía en los devanados a cuenta de su rotación en los campos magnéticos. Posteriormente, fueron creados transformadores de corriente (véase § 2.19).

El mundo se admiró por el gran descubrimiento de Faraday. Pero aún la naturaleza de la inducción no era conocida hasta el final. Nadie en aquel tiempo comprendía esto mejor que el propio Faraday. ¿De que forma una bobina influye en la otra, si entre ellas no existen conductores? Evidentemente, aquí influye el campo. ¿Y qué es lo que representa en sí este campo?

Oersted demostró que la corriente engendra el campo magnético.

Faraday demostró que el campo magnético engendra la corriente.

Esta mutua reversibilidad de los fenómenos todavía quedaba desconocida, era necesario de nuevo examinar detenidamente la naturaleza de estos fenómenos, buscar entre ellos un vínculo más profundo.

Ondas de doble composición

Siempre ocurre así en la ciencia: inicialmente se acumulan datos y después surge la necesidad de generalizarlos.

En aquel momento, cuando Maxwell se propuso la finalidad de generalizar todo lo conocido sobre la electricidad y el magnetismo, datos había hasta no más. La ciencia y la práctica encontraron una gran cantidad de aplicaciones del campo magnético engendrado por la corriente y conocían decenas de métodos de transformación de la energía del campo magnético en corriente eléctrica.

A base de estos dos principios se construyeron todos los instrumentos de medición.

En todas partes se empleaban esos mismos fenómenos. La corriente se engendraba por el campo magnético y el campo magnético influía en la corriente. Aquí todo es reversible como en la dínamo: Si se hace pasar corriente por los devanados, la máquina sirve como electromotor, si se hace girar la máquina con la ayuda de otro motor, esta comienza a producir corriente. Esta reversibilidad tiene la misma naturaleza: o el campo magnético de la corriente hace que gire el rotor de la

máquina, o, girando el rotor en el campo del imán obtenemos corriente en los devanados.

Cambiando el campo magnético cerca del conductor; se puede crear en el conductor corriente, y en el espacio que circunda al conductor con corriente, surgirán campos. La corriente pasa por el conductor, y en el espacio interactúan las fuerzas eléctricas y magnéticas.

¿Pero, y si no hay conductor? ¿Si creamos un campo eléctrico en el espacio y le obligamos a modificarse? ¿Qué pasará entonces?

James Clark Maxwell por primera vez planteó este problema y él mismo le dio respuesta. Pero no solo respuesta, sino que elaboró un sistema de ecuaciones matemáticas bien definidas y armoniosas: la teoría de los campos electromagnéticos. Faltaba solamente un eslabón en la cadena de todos los fenómenos conocidos que enlazan la electricidad con el magnetismo y Maxwell introdujo este eslabón en la teoría.

Si en el espacio existe un campo eléctrico alterno, entonces él engendra un campo magnético. Supongamos que en el espacio existe un conductor imaginario y que por el conductor circula corriente, también imaginaria. A esta corriente Maxwell la denominó corriente de desplazamiento para diferenciarla de la habitual corriente de convección -movimiento de las partículas que poseen carga.

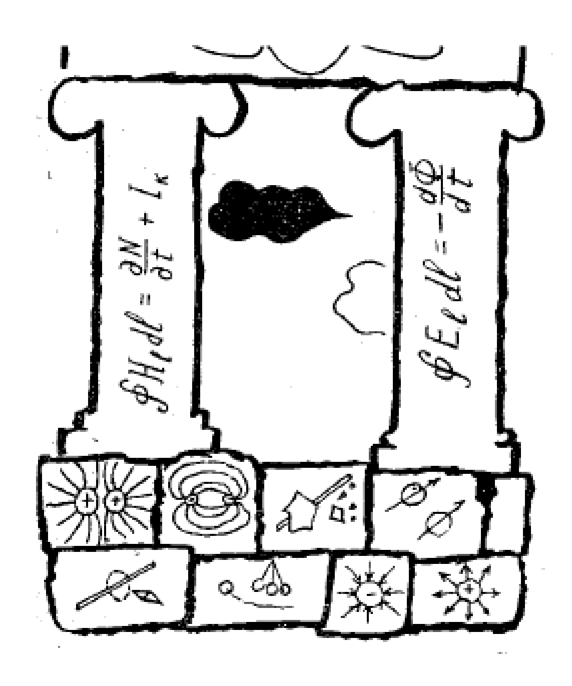
La ciencia no conocía tal fenómeno, en el que estos campos interaccionaran a pesar de la ausencia de un conductor con corriente. Pero, todos los hechos conocidos hablaban a favor de esta conjetura. Miles de experimentos, cientos de aparatos, basados en la ligazón indisoluble de los campos magnéticos y eléctricos, confirmaban esta suposición. Cierto es que en los experimentos y en los aparatos siempre figuraban el conductor y la corriente. Bien, esto quiere decir que las posibilidades de la corriente son limitadas: simplemente nosotros aún no hemos aprendido a revelar directamente el campo electromagnético, no hemos estudiado todas sus propiedades.

Así decidió Maxwell y la historia confirmó su razón.

Esta idea encontró reflejo en su sistema de ecuaciones y su teoría se hizo asombrosamente lógica. Todos los fenómenos descubiertos por la ciencia se convirtieron en casos particulares de las ecuaciones de Maxwell. Estas reflejaban

como un espejo la relación recíproca y la reversibilidad de los fenómenos: una de ellas reflejaba la dependencia del campo eléctrico de las modificaciones de los flujos magnéticos; la segunda señalaba de qué forma influye en el campo magnético la modificación de las fuerzas eléctricas que actúan en el espacio.

Surgiendo en el lugar, donde existe un conductor con corriente, el campo electromagnético se propagará en el espacio, ocupando un espacio cada vez mayor. Es posible separar el campo del conductor, pero no se pueden separar los campos eléctricos de los magnéticos -ellos están indisolublemente enlazados en una única onda electromagnética.



En la naturaleza no hay acción a distancia. Esto significa que el campo electromagnético no puede influir instantáneamente sobre un cuerpo si este está lejano. La onda se aproxima poco a poco. De la fórmula de Maxwell se dedujo que la velocidad de su movimiento es exactamente igual a la velocidad de la luz.

¡No está mal "poco a poco"! ¡Avanzando a esa velocidad la onda en un segundo puede aproximadamente dar ocho vueltas al globo terrestre! (La velocidad de la luz en el vacío es de 300 mil km/seg. Aproximadamente).

Conclusión inesperada

El mérito de Maxwell es enorme. Y a pesar de todo no se puede ocultar que durante muchos años hasta los descubrimientos de Maxwell, los predijo Faraday. Aún en el año 1832, intentando descubrir la naturaleza de la inducción, Faraday llegó a la conclusión de que en estos fenómenos, la excitación se transmite a distancia mediante vibraciones especiales parecidas las vibraciones de una superficie de agua agitada o a las vibraciones acústicas de las partículas del aire".

Además de esto, él escribía:

"...La causa de la influencia (la cual me permito denominarla magnetismo) se propaga de los cuerpos magnéticos de una forma gradual y, su propagación, exige un tiempo determinado, el cual, evidentemente, será muy insignificante".

¡Pero si precisamente esto fue lo que demostró Maxwell!

Entre las múltiples ideas de Faraday esta fue quizás la única que él no pudo comprobar con sus propias manos. Probablemente por esta causa él no se decidió manifestarla en alta voz. Faraday dejó una carta, la cual rogó que se abriera cuando pasaran 100 años.

En el año 1938, la carta fue leída por los miembros de la sociedad científica Real de Gran Bretaña y brindó la posibilidad de convencerse una vez más, de cual era la impresionante intuición que poseía Faraday. En efecto, en aquellos tiempos, estas ideas se confirmaron no solo en la teoría, sino también en los experimentos de Hertz y en numerosos medios de comunicación, basados en la utilización de las ondas electromagnéticas que se desplazan a una enorme, pero finita, velocidad (exactamente según Faraday).

Maxwell demostró que esta velocidad es igual a la velocidad de la luz.

¿Qué es esto, una coincidencia casual?

No. Maxwell no creyó en la casualidad. Él trató de encontrar la ligazón mutua de los distintos fenómenos. Si las ondas electromagnéticas se desplazan a la velocidad de la luz, entonces la luz es también ondas electromagnéticas.

Así, Como resultado de las investigaciones del vínculo entre la electricidad y el magnetismo, se descubrió de improviso, un parentesco completamente inesperado. Decenas de científicos estudiaron el vínculo entre las fuerzas eléctricas y magnéticas. Pero ¡quién podría pensar, que con esas mismas fuerzas se crea la luz visible!.

El genio audaz de Maxwell encontró esta unidad. Las ondas de la luz tienen la misma naturaleza que las ondas que surgen alrededor del conductor, en el cual existe una corriente alterna. Estas se diferencian unas de las otras solamente por su longitud. Las ondas muy cortas son la luz visible. En aquel tiempo todavía no podían revelar ondas más largas.

Solo 12 años después de la muerte de Maxwell, Henry Hertz pudo radiar y recibir estas ondas, confirmando la justicia de las ideas de su genial antecesor.

Y pasadas varias décadas, miles de estaciones de radio saturaban el espacio circunsterrestre con estas ondas, que llevaban comunicación a todos los confines del mundo y en todos los idiomas.

Historia de la luz

Antes que las ideas de Maxwell unieran la luz y las ondas electromagnéticas, la ciencia, referente a la luz, también tuvo que pasar un camino largo y difícil.

La luz atraía la atención de las personas desde la antigüedad. No se necesitaban aparatos especiales para su revelación. El mundo está lleno de rayos del sol, y solo gracias a la luz el hombre pudo conocer este mundo solar. De ahí viene el por qué la primera "disputa científica" sobre la luz tuvo lugar tres mil quinientos años atrás. El iniciador de la "disputa" fue el faraón Amenofis IV, que vivió en el siglo XIV a.n.e.

Contrariamente a las teorías que existían en aquel tiempo, que afirmaban que la luz era una radiación de los ojos del dios Amón, Amenofis IV llegó a la conclusión de que la luz proviene del Sol. El Sol también se consideraba por un dios, al cual llamaban Atón. Amenofis IV confirmó en forma directiva sus nuevos puntos de vista: Ordenó que en lugar de Amón se adorara a Atón y -en honor a esta innovación cambió su nombre por Ejnatón. Amenofis significa ser amable a Amón, y Ejnatón, ser deseable a Atón. Este nuevo nombre correspondía plenamente al espíritu de las nuevas ideas.

Los antiguos griegos razonaron de otra forma. Partiendo del hecho de que solo gracias a la luz el hombre puede ver los objetos, ellos llegaron a la conclusión de que la luz es irradiada por los propios

objetos. "Las partículas luz" llegan al ojo del hombre, y gracias a estas partículas se puede ver el objeto.

No obstante, en los trabajos de los antiguos filósofos es posible encontrar otros puntos de vista. Platón, por ejemplo, en sus famosos "Diálogos" emite su opinión así:

“De los órganos los dioses ante todo crearon los ojos luminosos”.

Este ya constituye un paso hacia adelante en comparación con Amenofis-Ejnatón. De acuerdo con Platón la "vista luminosa” la poseen no solo los dioses, de ella esta dotado el propio hombre.

Pero, por otra parte, es difícil señalar si está más cerca esto de la verdad: para Amenofis la luz existe fuera del hombre, para Platón la fuente de la luz es el propio hombre. Sus ojos como si “palparan” los objetos con el rayo emitido por ellos.

La claridad sobre esta cuestión se hizo evidente mucho después. Aproximadamente en el alto 1000, el célebre científico árabe Abu Ali Jaisan (conocido en la historia bajo el nombre de Algasen) proclamó por primera vez, que lo que nosotros vemos es la luz reflejada por los objetos.

¿Pero, que es lo que esta luz representa en sí?

El gran Newton nos dejó su teoría sobre la luz, en la cual renacen las ideas de los antiguos filósofos. Newton también consideraba que la luz consta de partículas. Cierto que sus partículas (él las denominó corpúsculos) ya no se irradiaban por los ojos, ni por los objetos: Newton se representaba perfectamente que los objetos visibles solamente reflejan la luz.

Posteriormente, Maxwell creó la teoría electromagnética de la luz, que se apodera hasta tal punto de las mentes de los científicos, que se olvidan de los corpúsculos de luz. En cambio se acuerdan de Huygens y Fresnel, contemporáneos y adversarios de Newton que aseguraban que al encontrarse en el proceso con obstáculos, la luz se comporta de tal manera como si no estuviese compuesta de partículas, sino de ondas.

Y unas cuantas décadas más tarde la ciencia tropieza o un fenómeno que nuevamente obliga a revisar los puntos de vista sobre la luz.

Bajo la acción de la luz, el metal irradiaba tantos electrones, como si sobre él hubiera caído una granizada de ciertas partículas. Las ondas de Maxwell no pueden

aclarar tales fenómenos. Estudiando este efecto (el cual fue denominado efecto fotoeléctrico), Einstein regresó nuevamente a la idea de Newton, sobre los corpúsculos, y aumentó la lista de las ya antes descubiertas partículas elementales de materia, con la partícula de luz llamada fotón.

Este es un ejemplo típico de la dialéctica: sobreestimación en una nueva etapa de desarrollo, de los puntos de vista e ideas anteriores. De los corpúsculos de luz de Newton a las ondas de Huygens y Fresnel, y de ellas a las ideas de Maxwell, sobre las ondas electromagnéticas y después a los fotones de Einstein, que eliminaron las "manchas blancas" en la teoría ondulatoria de la luz. Estas son las etapas fundamentales de la evolución de los puntos de vista de la ciencia referente a la luz.

Y he aquí finalmente, la teoría contemporánea de la luz, otro vivo ejemplo de la unidad dialéctica de las propiedades contrarias de los fenómenos: en unos fenómenos la luz manifiesta sus propiedades ondulatorias, en otros, se comporta como un flujo de partículas ligeras.

Pero, ¿para qué fue necesario relatar en este libro, sobre la electrónica, la historia de la luz?

Se hubiera podido omitir esta historia, si en los últimos años no hubiese surgido la fotónica, que crea los generadores de luz y que hace concurrencia con la electrónica en la solución de toda una serie de problemas.

¿Dónde comienza la radio?

Existe la radio, existe la electrónica. Dos ramas de la técnica estrechamente ligadas entre sí. ¿Dónde se encuentra la frontera que separa a una de la otra?

La electrónica se ocupa de la elaboración de los aparatos electrónicos: lámparas, tubos electrónicos, semiconductores. El papal de la radio no exige aclaración. Más, sin embargo...

¿Podría existir la radio sin la electrónica? Es difícil imaginarse un moderno transmisor o receptor sin semiconductores o lámparas. Bien, pero resulta, que es posible realizar una transmisión mediante aparatos fotónicos. En este caso, la transmisión se lleva a cabo no por medio de radioemisiones, sino mediante los rayos de luz.

¿Es esto una radio? Para contestar a esta pregunta hay que profundizarse nuevamente en el significado de la palabra "radio". La palabra "radio" proviene de la palabra latina "radius", que significa en español "rayo". La radio puede funcionar con distintas clases de rayos. Además, la luz y las irradiaciones utilizadas por la radio hasta ahora tienen una misma naturaleza.

Maxwell estableció esta realidad cerca de cien años atrás. ¿Por qué solo en los últimos años surgieron los sistemas de transmisión en base a los rayos de luz?

Es que en los primeros tiempos del desarrollo de la técnica de transmisión, a esta le era más fácil dominar las ondas de mayor longitud. Después de los descubrimientos de Maxwell, la ciencia buscaba obstinadamente la vía de obtención de estas ondas invisibles. ¿Para qué? No solamente para confirmar o rechazar las ideas de Maxwell. Muchos comprendían que estudiando estas ondas, la ciencia podría adaptarlas para trabajos prácticos. ¿Para cuales, exactamente? ¿Quién pudiera saber cuales eran las posibilidades, que ocultaban en sí las ondas, todavía no observadas por nadie? Era muy difícil hacer pronósticos, sin conocer absolutamente sus propiedades.

Aún el propio Henry Hertz, que fue el primero en la historia en obtener estas ondas, afirmaba que no había ninguna utilidad práctica en su descubrimiento.

Y al mismo tiempo, precisamente en los experimentos de Hertz, nació el principio que con el tiempo se hizo la base de toda comunicación inalámbrica: irradiación y recepción.

"Es necesario inventar un aparato que pueda sustituir las sensaciones electromagnéticas, que al hombre le falta". Así formula el problema el eminente científico ruso Alexander Stepanovich Popov.

Y poco tiempo después él demostró que tales aparatos pueden ser efectivamente creados. El día 27 de abril (7 de mayo) de 1895 A. S. Popov hizo su informe histórico sobre los resultados de las primeras pruebas de comunicación sin hilos. Dos años más tarde A. S. Popov demostró la posibilidad de transmitir radio señales desde el Laboratorio de Química donde se encontraba el emisor al Gabinete de Física en que estaba el receptor, a una distancia de 250 m. En aquel tiempo la Flota estaba muy necesitada de este tipo de comunicación. En la tierra podía realizarse mediante cables. Pero no se podía tirar un cable desde la orilla hasta un barco que se hizo a la mar.

Pasados dos años más la estación de radio creada por A. S. Popov ya aseguró la comunicación entra dos barcos a la distancia de cuarenta kilómetros y, en el año 1900, la radiocomunicación entre Kronstadt y la isla Gogland sirvió para coordinar los trabajos de salvamento del acorazado "General-Almirante Apraksin" que había encallado cerca de esta isla.

Valiéndose de la misma estación de radio A. S. Popov transmitió al jefe del rompehielos "Ermak" la comunicación del Estado Mayor Naval de que la tempestad se había llevado hacia el mar un témpano en el cual se encontraban 27 pescadores. El rompehielos "Ermak" que salió a su encuentro llego oportunamente en su ayuda. La comunicación inalámbrica contribuyó a salvar la vida de esos hombres.

Así la radio comenzó a ser reconocida, aunque sobre la electrónica todavía nadie sabía nada.

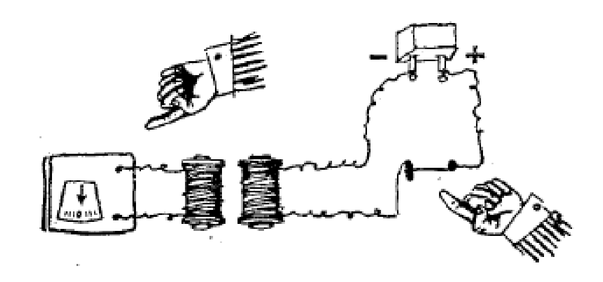
Otra vez la radio sin la electrónica: pues Popov en sus primeras estaciones de radio, pasó sin las lámparas electrónicas.

Sobre la comunicación sin cables

Resulta que para la radiocomunicación las lámparas no son en absoluto obligatorias.

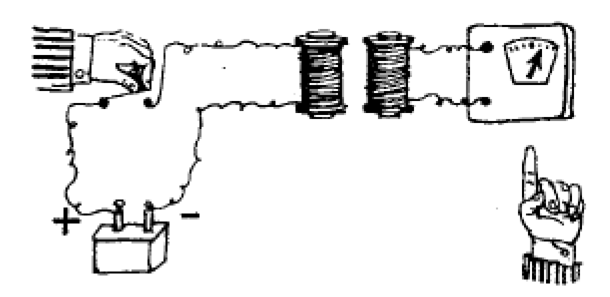
El transformador, por lo visto, es conocido por todos. Pero es poco probable que alguien suponga que entre los devanados primario y secundario exista radiocomunicación. Sin embargo, ella existe en realidad: el devanado secundario sirve de receptor para las ondas que irradia el circuito primario.

Tomemos dos bobinas dispuestas una cerca de la otra. Una de ellas está conectada a los polos de la batería a cuyo circuito esta intercalado un aparato de medición. Cuando por el devanado primario circula corriente, la aguja del aparato se mantiene en el cero.

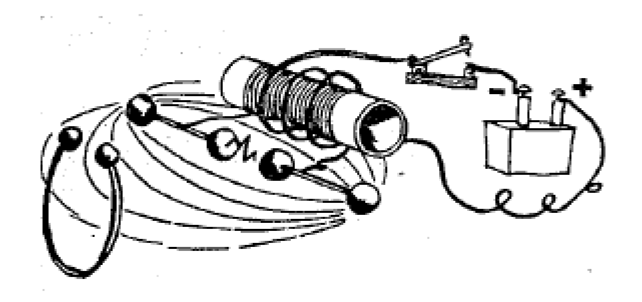


Pero si nosotros desconectamos la batería del devanado primario, en el secundario, la aguja del aparato producirá un salto. ¿Por que? Porque en el momento de la desconexión varía el campo del devanado primario y en las espiras del secundario, que se encuentra a distancia del primario, se origina una corriente eléctrica de inducción. Este cuadro se observara siempre, solo es necesario que en todos los casos las bobinas se encuentren cerca una de la otra surgiendo entonces entre, ellas una original "radiocomunicación". En el transformador los devanados se colocan en un núcleo de un hierro común, que sirve de medio favorable para una "comunicación estable" de los campos magnéticos. Si la corriente del devanado primario cambia continuamente, ella excitará un campo alternativo. Este campo creará en el devanado secundario una corriente alterna secundaria (véase § 2.19). En los transformadores la comunicación entre los devanados se verifica a través de un núcleo de hierro, y en las bobinas, dispuestas al lado, a través del vacío que los separa.

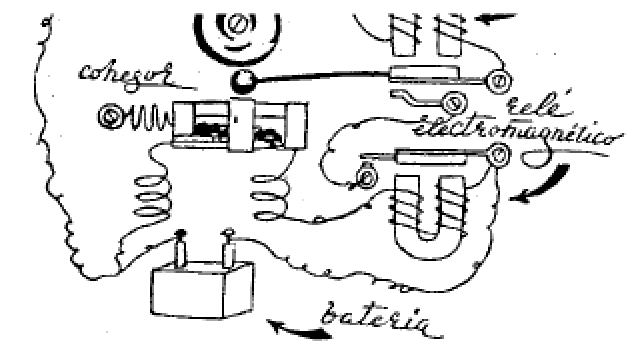
¿Y no se podrían separar los devanados aún más lejos y conservar entre ellos la comunicación? Resulta que es posible. Precisamente esto fue lo que demostró en su famoso experimento Henry Hertz.



Cierto, que para la amplificación de la comunicación se tuvo que renunciar de los devanados habituales y sustituirlos por un dipolo especial. El campo en el espacio, alrededor del dipolo se creaba con la ayuda de chispas. La chispa saltaba entre dos bolas que recibían una carga determinada.



Todavía en los experimentos con la botella de Leiden fue observado que la chispa que surgía entre las armaduras de la botella se comporta de una manera singular: en un instante esta cambia varias veces su dirección y correspondientemente los signos de las cargas de las dos armaduras cambian la misma cantidad de veces. La chispa origina oscilaciones; he aquí de lo que partió Hertz en sus experimentos.



Junto al dispositivo de descarga él colocó un bucle del segundo dipolo, en cuyos extremos se fijaban otras bolas. El campo creado por la chispa, originaba en el bucle corrientes de inducción y entre las bolas del segundo dipolo también saltaba una débil chispa. Para amplificar la comunicación entre los dipolos de recepción y de emisión, Hertz los instaló en los focos de espejos especiales.

Apoyándose en los experimentos de Hertz, Popov creó la primera estación de radio, cuyo principio se describió en cientos de periódicos, revistas y libros. Al igual que en los experimentos de Hertz, entre los dos electrodos, al acercarlos, saltaba una chispa eléctrica. De ella se dispersaban en todas direcciones las radioondas. Para la comunicación entre el transmisor y el receptor, Popov utilizó antenas y este principio introducido por Popov, se conserva hasta nuestros días. Bajo la acción de las ondas, percibidas por la antena de recepción se compactaban las partículas de metal en el así llamado cohesor, y este último comenzaba a dejar pasar la corriente eléctrica. Respondía el relé y el cohesor recibía una "débil conmoción", las partículas nuevamente se derramaban dentro del cohesor y esperaban hasta quo surgiera el siguiente "golpe" de las radioondas.

En este sencillo dispositivo había un defecto: la señal era demasiado corta. La chispa saltaba al instante, y las ondas, que originaba, se apagaban nada más aparecer a la luz.

¿Qué es lo que se puede transmitir con tales señales? Solo el alfabeto telegráfico: punto-punto-raya. Transmitir la voz humana es más complicado. Era necesario crear radioondas no amortiguadas, aprender a transportar el sonido "sobre" las radioondas y después de captar estas ondas con ayuda de la antena receptora, amplificarlas hasta tal punto que ellas puedan sacudir el difusor del altoparlante electrodinámico que reproduce el sonido.



Para la emisión de señales continuas y su amplificación Lee de Forest creó su famoso tríodo.

He aquí cuando nació la electrónica.

Por otra parte, el término "electrónica" no se podrá hallar en los diccionarios o catálogos compuestos en aquel tiempo. El término nació posteriormente. Pero tanto la lámpara como el tubo electrónico son los dos primeros retoños de la electrónica de los cuales creció el árbol que nos brinda una gran cantidad de inesperados y maravillosos frutos.

Capítulo 3
Electrones, ondas, campos

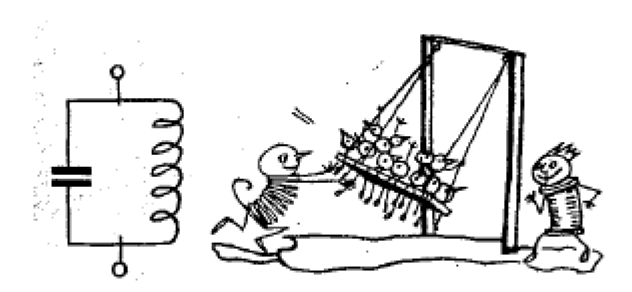
Como se pudieron controlar los electrones con ayuda del campo. Sobre la colaboración de las ondas con los electrones, la cual dio lugar a la radiocomunicación mundial.

Contenido:

- *¿Qué irradia el cerebro?*

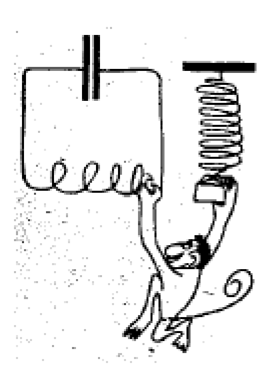
§ 3.1

La bobina y el condensador, unidos en paralelo, forman un circuito oscilante, es decir, un dispositivo que desempeña un prominente papel en la electrónica y en la radiotécnica.



En el circuito surgen oscilaciones semejantes a las oscilaciones de un péndulo o de una cuerda en tensión. Pero el péndulo y la cuerda oscilan ellos mismos, mientras que las piezas del circuito estén fijas. Aquí las oscilaciones se originan por los electrones, es decir, oscila la corriente eléctrica.

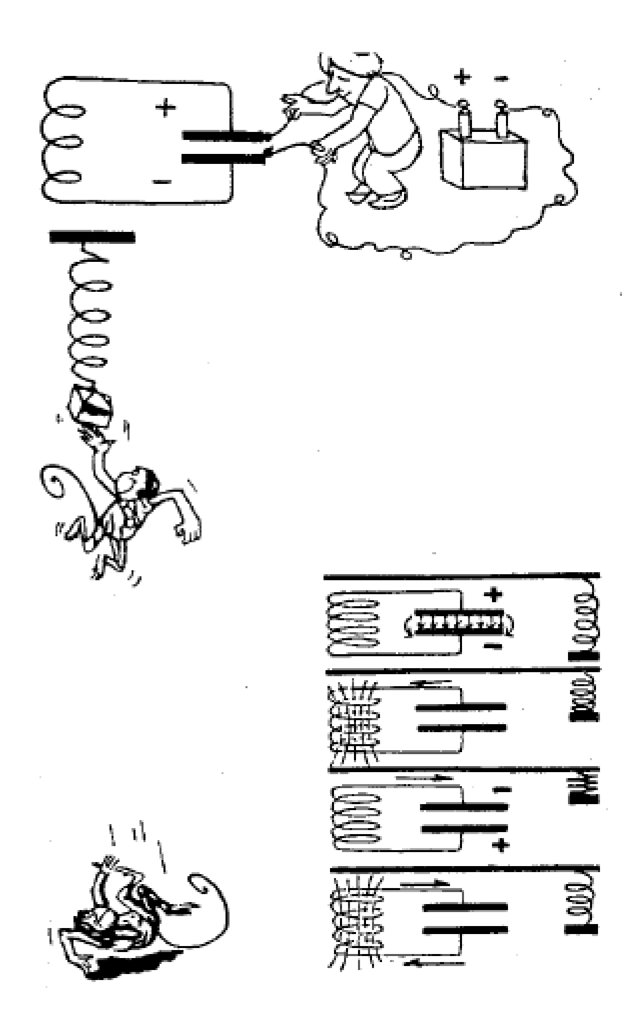
§ 3.2



A veces la semejanza exterior resulta falsa. En este dispositivo el muelle, que por su forma exterior es parecido a la bobina, en realidad desempeña el papel de condensador. Y el peso suspendido en el muelle, a pesar de no ser parecido exteriormente a la bobina, tiene en cambio una semejanza con esta más profunda. El peso posee inercia. La bobina también. Aquel, que haya olvidado a que esta está condicionada, puede observar otra vez los dibujos 11.20 y 11.21.

§ 3.3

Si conectamos por un corto tiempo a las placas de condensador una fuente de voltaje, toda la energía al principio se concentrará en el condensador.



Un estado análogo en el muelle con el peso suspendido surgirá cuando se estire y después se suelte éste, permitiendo al sistema actuar por sí mismo.

§ 3.4

El muelle comenzará a comprimirse, el peso regresará a su posición media, pero el movimiento no cesará: gracias a la inercia del peso, este se dirigirá hacia arriba y, comprimiendo el muelle, de nuevo transmitirá toda su energía a este último.

Lo mismo sucede en el circuito. El condensador dio toda su energía, pero la corriente en el circuito no cesa. Esta fluye "por inercia". Su dirección, de momento, sigue siendo la de antes (el peso todavía sigue moviéndose hacia arriba). En la

placa superior del condensador se "agolpan" más y más electrones. Al principio estos disminuyeron el potencial positivo hasta cero, pero la corriente continúa circulando "por inercia" y el cero se convierte en "menos". Mientras que en la placa opuesta se forma el "más".

El muelle anteriormente fue estirado, pero ahora resulta comprimido. Las cargas eléctricas de las placas del condensador se distribuyeron de nuevo y estas cambiaron su signo.

Después que el muelle está comprimido al máximo, surge el momento del cambio del sentido del movimiento del peso: antes éste se movía hacia arriba, ahora comenzaría a moverse hacia abajo.

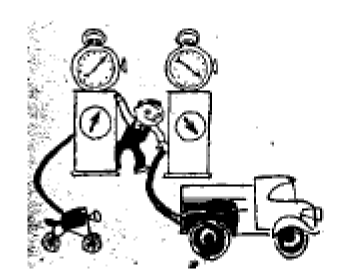
Después que el condensador adquirió una carga de signo contrario, la corriente cambia su dirección. (En todos los dibujos se muestra la dirección técnica de la corriente).

§ 3.5

De nuevo el peso alcanza su posición media, y después por inercia estira el muelle. Nuevamente en el condensador cambian de lugar el "más" y el "menos".

El sistema regresa a su estado inicial (véase § 3.3). Concluyó el ciclo (o período) de las oscilaciones propias del circuito.

¿Por qué "propias"? El lector, evidentemente, ya se dio cuenta de que la fuente externa fue necesaria solamente al comienzo del proceso (véase § 3.3). Pero, después ésta se desconecta y el circuito se vale de sus propias fuerzas, crea oscilaciones propias, que tienen también una frecuencia propia. El ciclo se repite reiteradamente, el sistema pasa unas cuantas veces seguidas por las posiciones mostradas en el dibujo § 3.4; pero cada vez la amplitud de las oscilaciones será menor y, al fin y al cabo estas cesarán por completo.



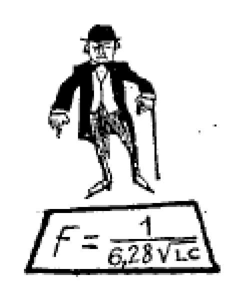
§ 3.6

¿Cuánto tiempo ocupa cada ciclo de oscilaciones del circuito?

Es evidente, que este tiempo depende de las propiedades del "muelle" y del "peso". Y efectivamente, el tiempo de cada ciclo se determina por la capacidad del

condensador y por la inductancia de la bobina. Cuanto mayor sea la capacidad, tanto mayor será el tiempo para la carga y descarga del condensador. Cuanto mayor sea la inductancia de la bobina tanto más despacio aumentará la corriente que circula por dentro del circuito (véase § II.21).

§ 3.7



La cantidad de ciclos completos (períodos) de las oscilaciones propias del circuito, en el transcurso de un segundo, determina su frecuencia propia.

Con el aumento de la capacidad y la inductancia, el período se hace más largo, el número de ciclos por segundo disminuye, disminuye la frecuencia propia.

Esta dependencia se expresa mediante la fórmula de Thomson:

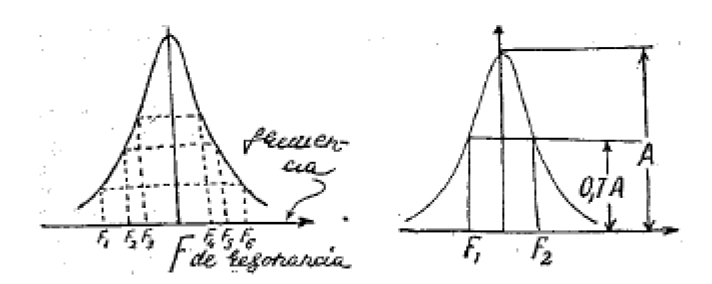
$F = 6{,}28^{-1} * (LC)^{-(1/2)}$

En la fórmula, F es la frecuencia (número de oscilaciones por segundo), L, la inductancia (en henrios), C, la capacidad (en faradios).

§ 3.8



Por todos es conocido el fenómeno de la resonancia. Por ejemplo, gracias a la resonancia una cuerda responde al sonido de otra cuerda. Además, ella comienza a sonar extraordinariamente fuerte, si la frecuencia del sonido exterior coincide con su frecuencia propia. Del mismo modo se comporta el circuito de radio. Las oscilaciones de la corriente en el circuito serán extraordinariamente fuertes si la frecuencia de las oscilaciones (señal) suministradas al circuito coincide con su frecuencia propia (de resonancia).



Al variar la frecuencia de la señal hacia cualquier lado de la resonancia, las oscilaciones en el circuito comenzarán a disminuir. Esta propiedad está bien reflejada en un gráfico, parecido por su aspecto exterior a una campana. Tal curva se denomina característica de resonancia del circuito.

§ 3.9

El circuito no responderá a aquellas señales, cuyas frecuencias están lejos de la resonancia. Se ha acordado considerar, que el circuito deja pasar libremente las señales con frecuencias comprendidas entre F_3 y F_4 (en estas frecuencias el nivel de las oscilaciones del circuito es el 0,7 del nivel de las oscilaciones de este durante la resonancia).



Generador de un arco musical

Hubo un momento en la historia de la radio, en que ésta podía prescindir de la electrónica. Pero ¡qué radio era!

...Transcurría la primera guerra mundial. A dos kilómetros de Jodinka incesantemente se escuchaba el estruendo de las descargas: la estación de radio de Moscú radiaba al espacio señales de una potencia de aproximadamente. 100 Kw que es una potencia bastante grande. Una cocinilla eléctrica corriente consume solamente cerca de 0,5 kilovatios. Pero a pesar de su gran potencia esta estación, salvo el alfabeto Morse, que se reduce a chispas de descarga, no podía transmitir nada más.

Estaciones de tal tipo funcionaban también en otras ciudades de Europa. En los barcos de la flota de guerra también se empleaba la radiocomunicación telegráfica. Las señales que se transmitirán por radio eran captadas con facilidad por el

enemigo. Los alemanes seguían con ayuda de ellas las maniobras de los ingleses y los franceses. Los aliados localizaban los barcos de la flota alemana e intentaban adivinar el código secreto e las órdenes del estado mayor.

Y aquí sucedió una cosa insólita: todas las estaciones alemanas comenzaron obstinadamente a guardar silencio.

Esto provocó cierto pánico en los estados mayores de guerra de Rusia, Inglaterra, Francia: indudablemente se preparaba alguna mala pasada, los alemanes guardaban en secreto alguna innovación.

El secreto lo adivinó el eminente científico ruso Mijail Vasilievich Shuleikin. Resultó, que los alemanes habían pasado a la emisión continua de ondas. Pero los receptores de los aliados estaban calculados para la recepción de señales telegráficas de chispas: cuando en el transmisor surge una chispa en el receptor se escucha un chasquido. Y aquí la onda se emitía continuamente llevando en sí las huellas del alfabeto Morse, que los viejos tipos de receptores no podían captar.

Shuleikin encontró la fórmula que permitía, con ayuda de los viejos receptores, "localizar" la emisión de las nuevas estaciones alemanas. Él propuso interrumpir la señal directamente a la entrada del receptor, es decir, hacerla semejante a los sobresaltos ordinarios de las ondas. Y entonces, al llegar la señal se escuchaban de nuevo los caporreteos.

Más tarde resultó que las primeras ondas continuas fueron obtenidas por los alemanes con ayuda de un “generador de arco musical”. Este generador fue creado por el irlandés Duddell, el cual tomó un circuito de radio (véase § 3.1) y comenzó a impulsarlo ligeramente con un flujo continuo de chispas. Para obtener las chispas, Duddell empleó los arcos voltaicos. El circuito se sintonizaba para audiofrecuencias, el generador durante su funcionamiento emitía un sonido de tono musical, por eso a éste se le bautizó con el nombre de “generador de arco musical”.

Como nacen las oscilaciones y como ellas mueren

El circuito es un dispositivo sencillo. La bobina de alambre y el condensador se conectan en paralelo (véase § 3.1). Ambas piezas son conocidas desde hace tiempo por la ciencia. El condensador se parece a las botellas de Leiden. La bobina es el solenoide de Ampère (véase § II.15). Pero, cuando el científico norteamericano

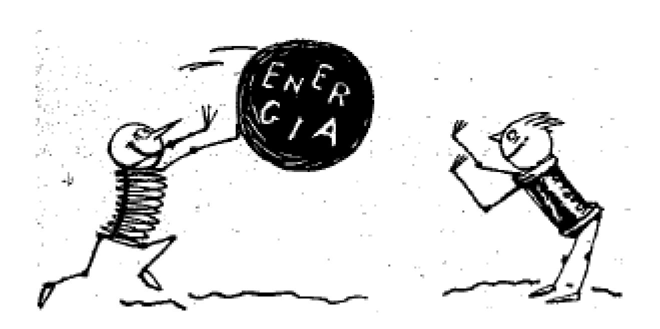
Thomson obligó a estas piezas a funcionar conjuntamente, obtuvo procesos que hasta el día de hoy no han perdido su valor.

En el circuito nacen oscilaciones, un fenómeno que tiene una gran cantidad de analogías en ramas de la técnica completamente diferentes.

Podemos recordar el péndulo, la cuerda, el diapasón, el columpio. Todos estos dispositivos después de un golpecito comienzan a crear oscilaciones con una frecuencia propia determinada (véase § 3.5).

El columpio, la cuerda, el péndulo, oscilan ellos mismos. Las piezas del circuito son inmóviles. Sus (piezas" móviles son invisibles: en el circuito oscilan los electrones que crean una corriente alterna oscilante (véase § 3.1).

La bobina y el condensador se transmiten alternativamente uno al otro la energía como los tenistas la pelota.



Sin embargo, es conocido desde hace tiempo, que el "motor perpetuo" no se puede construir. Si se pusiera el sistema en movimiento, debido al rozamiento, parte de energía inevitablemente, se convertiría en calor. Si la pérdida de energía no se complementa con ayuda de una fuente exterior el movimiento cesará, porque toda la energía al fin y al cabo se dispersa en forma de calor. El calor se volatiliza al espacio y en cualquier "motor perpetuo", antes o después llega el "descanso eterno".

Por la misma causa cesan las oscilaciones del péndulo y del columpio. La fricción entre las piezas y la resistencia del aire obligan a que se detengan el columpio, el péndulo y, el peso suspendido en el muelle. En el circuito oscilatorio se mueven los electrones. ¿Es posible que las fuerzas de rozamiento actúen también sobre ellos?

Sí, aquí también existe una fricción singular. La bobina posee resistencia. Al vencerla, los electrones pierden energía y esta, del mismo modo que en el péndulo

y en el columpio se transforma totalmente en calor. Las oscilaciones se van debilitando y al fin y al cabo cesan por completo.

La radio necesita mucho tales oscilaciones de la corriente que una vez surgidas se mantengan largo tiempo. Estas pueden ser convertidas fácilmente en ondas continuas. Con ayuda de este tipo de ondas se puede transmitir todo lo que se desee: una conversación, música, una imagen y, si es necesario, señales telegráficas intermitentes.

¿Pero cómo obtener las oscilaciones continuas?

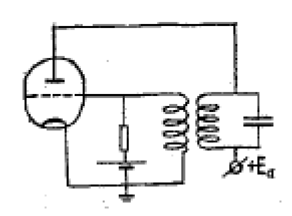
Para esto es necesario "impulsara" continuamente el circuito. Y, además, es más fácil impulsarlo cuando la frecuencia de los golpes coincide con la frecuencia propia de este circuito, -se obtendrá la resonancia.

¿Pero quién lo va a impulsar?

Se necesita de nuevo un circuito. Para que los golpes sucedan continuamente las oscilaciones en él no deben amortiguarse. Este significa, que en este caso es necesario "impulsarlo" de nuevo al compás de su frecuencia propia.

¿Y quien lo va a "impulsan"? ¿También un circuito? Pero en esta cadena nunca encontraras el fin. ¿Y no se podría cerrar la cadena en forma de anillo?

¿Por qué fluyen los ríos?



Es poco probable que existan en el mundo, personas a quienes no les agraden los ríos. Los ríos son bienqueridos porque en ellos hay peces, porque en un día caluroso calman la sed y brindan frescor y en el invierno se convierten en caminos para esquiar y en alegres pistas de patinar.

Pero los ríos se aprecian aún más, porque ellos no permanecen nunca en un mismo lugar, y por la majestuosa, inolvidable y eterna carrera de sus aguas. Pasan los días, los años, los siglos y el agua en el río sigue corriendo y corriendo. ¿De dónde? ¿Adónde?

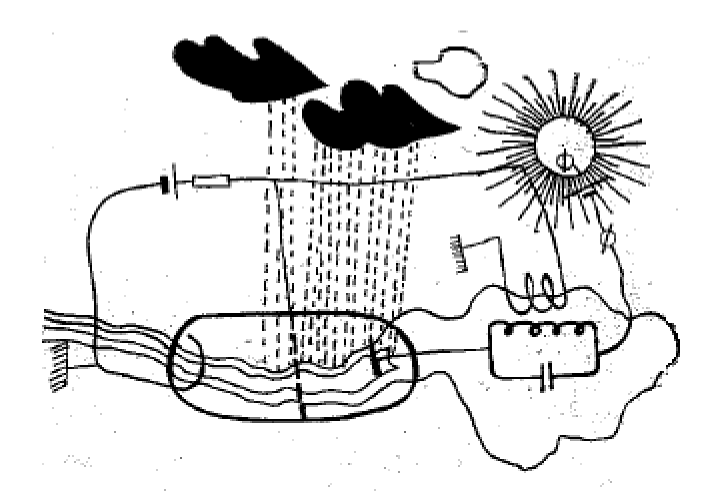
Y en efecto, ¿adónde y de dónde? ¡Esto ya no es lírico, sino un asunto absolutamente practico!

Cada cual sabe que los ríos corren desde su lugar de nacimiento y desembocan en el mar. Pero si de siglo en siglo el río entrega sus aguas al mar, y con esto no se agota, entonces ¿de dónde toma él esa cantidad de agua?

Ella llega del cielo en forma de lluvia y nieve. Al cielo llega de los lagos, mares y océanos. Y lo que pierden los lagos, mares y océanos a causa de la evaporación, es entregado de nuevo por los ríos. Seguramente el lector ya se habrá dado cuenta de por que nosotros, interrumpiendo la conversación sobre las oscilaciones en el circuito, recordamos de súbito la circulación del agua. La razón es que en el movimiento de los ríos este precisamente lo que a nosotros nos faltaba para mantener las oscilaciones no amortiguadas, un círculo cerrado. Del océano a las nubes, de las nubes al río, del río nuevamente al océano.

De esta manera funciona el generador. El circuito oscilatorio se ha conectado al ánodo del tríodo. Y, para que las oscilaciones no se amortigüen, una parte de la energía oscilante del circuito anódico se suministra a la rejilla de nuestro tríodo. Al llegar a la rejilla, las oscilaciones comienzan a controlar la corriente que circula a través del tríodo. La corriente oscilante va a sacudir el circuito, conectado al circuito anódico. Cuantas veces se repitan las oscilaciones en el circuito, tantas veces variará la tensión de control de la rejilla. En cada tacto van a surgir saltos de la corriente anódica, los cuales van a sacudir el circuito al come de su frecuencia propia. En lugar de una a cadena cantina se ha obtenido un circuito cerrado.

Las oscilaciones una vez surgidas en el circuito, al alcanzar la rejilla se amplifican y comienzan a sacudir el circuito aún con más fuerza. Y del circuito pasarán de nuevo a la rejilla y de allí otra vez al ánodo.



En el amplificador la señal, suministrada a la rejilla del tríodo, está relacionada con la corriente anódica (véase § I.25 –§ I.34). Y en el generador, además de esta ligazón, se ha previsto también la relación inversa; una parte de la energía pasa nuevamente del ánodo a la rejilla y la lámpara va a intensificar sus señales propias.

Los especialistas de electrónica a este régimen lo llaman auto excitación.

En la circulación del agua en la naturaleza, examinada por nosotros, también podemos encontrar una "relación inversa” singular. El reemplazamiento de los mares y océanos de agua, suministrada por los ríos es una relación directa. El reemplazamiento de los ríos con el agua de las lluvias, obtenida por la evaporación de los depósitos naturales de agua es una relación indirecta. ¿Pero de dónde se toma la energía en la circulación del agua y en la creación de las oscilaciones eléctricas? En el primer caso está la suministra el Sol. Y en el segundo caso la suministra la fuente de corriente continua que alimenta al ánodo. Así pues la fuente es un Sol original, el circuito en el ánodo es un mar, los ríos son los electrones, que circulan del cátodo al ánodo y la transmisión de una parte de energía del ánodo a la rejilla son las lluvias. En esta circulación la energía de la corriente continua de la fuente se transforma en energía de las oscilaciones no amortiguadas.

Sólo cierta parte de la corriente continua puede transformarse en oscilaciones: el generador siempre consume más energía que la que llevan en sí aquellas oscilaciones que él originó. Si tan siquiera la mitad de la energía, tomada de la fuente de corriente continua se transforma en energía de las oscilaciones, se considera que el generador funciona bien. A propósito, desde nuestro punto de vista

terrestre el Sol consume su fuerza mucho menos racionalmente: casi toda ella se dispersa en el cosmos y hasta nosotros llega solamente una parte insignificante de ella.

En nuestros generadores aproximadamente la mitad de la energía de la fuente se transforma en oscilaciones. La otra mitad se pierde en el vacío. Pero uno puede resignarse con las pérdidas, si son en pro de algo. Aquí el objetivo está claro: la corriente oscilante alterna, surgida en el generador, se puede enviar a una antena creando alrededor de ella un campo electromagnético en forma de radio ondas que corren en todas direcciones.

Existen ondas de diferente tipo

§ 3.10

Las oscilaciones de la corriente, que surgen en un circuito radio-técnico; las ondas que corren por la superficie de un lago; las vibraciones que se originan por la acción de las corrientes de aire en el ala de un avión; las oscilaciones del péndulo y del sonido, están subordinadas a unas mismas ecuaciones matemáticas.

Desde el punto de vista de la física estos fenómenos son de diferente naturaleza.

§ 3.11



Pero ellos tienen un rasgo común. Este consiste en que todos ellos representan en sí oscilaciones sinusoidales periódicas y se caracterizan por tres magnitudes: amplitud, fase y frecuencia.

Se llama amplitud a la mayor desviación de su posición media (frecuentemente la posición media es nula).

Frecuencia es la cantidad de ciclos por segundo.

En lo que se refiere a la fase, tenemos que...

§ 3.12

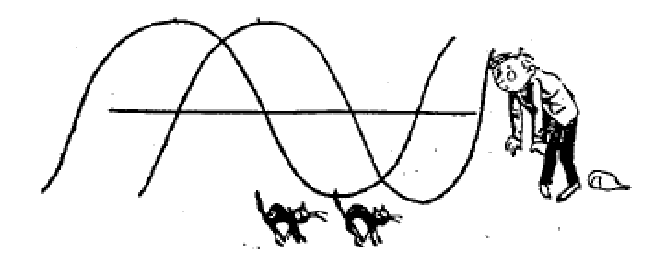
Mientras se trata de un proceso sinusoidal, de la fase generalmente nadie se recuerda. En cambio, dos oscilaciones de iguales amplitud, y frecuencia pueden

diferenciarse por la fase. Para la comparación de tales oscilaciones se incluye el concepto de diferencia de fase.

Si las fases de dos oscilaciones son desiguales, esto significa que las crestas de dos ondas surgen en distinto momento, y dos columpios pasan por las posiciones media y extrema, en diferente momento.

A pesar de que la frecuencia de las oscilaciones en ellos es igual, estos van a moverse en persecución o al encuentro uno del otro, porque entre sus oscilaciones hay diferencia de fase.

Del mismo modo se comportan las corrientes alternas que surgen de dos fuentes de voltaje alterno con una determinada diferencia de fase.



§ 3.13

Si la antena esta acoplada con el circuito, en el cual tienen efecto oscilaciones eléctricas, entonces el movimiento de los electrones en la antena resulta semejante al oleaje marino: al compás de las oscilaciones del circuito en la antena, se alternan el "flujo" y el "reflujo".

Con cada "flujo" crece la intensidad del campo electromagnético que rodea a la antena: se forma la cresta de la onda.

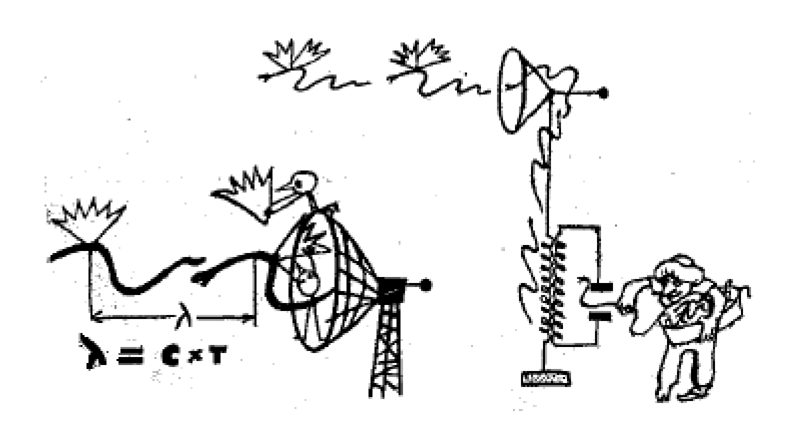
§ 3.14

Pasado un tiempo T, igual al período de las oscilaciones del circuito, el "flujo" se repetirá: surgirá otra cresta. Y la cresta anterior se alejará en este instante de la antena a la velocidad de la luz C y durante el tiempo T logrará alejarse de ella a una distancia de C x T.

De esta forma, nada más acaba de surgir en la antena una cresta y la anterior ya se encuentra a una distancia de C x T. La longitud de onda λ es precisamente la distancia entre las crestas inmediatas:



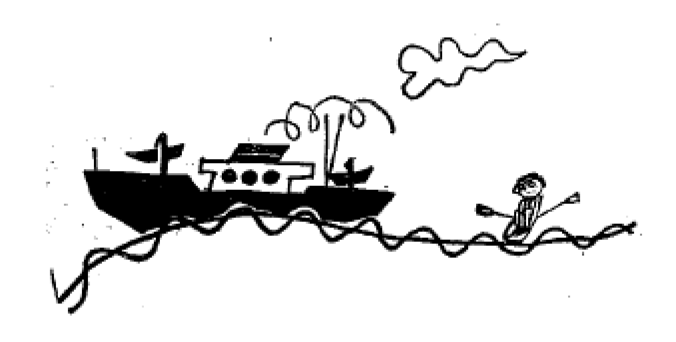
$$\lambda = C \times T.$$



§ 3.15

Cuanto con menos frecuencia se repiten los flujos en la antena, tanto más se aleja una cresta antes de que se forme la otra. Con otras palabras: cuanto menos sea la frecuencia de las oscilaciones en el circuito, tanto más larga será la onda que se emite.

A menudo tendremos que recordar esta dependencia. Para asimilarla mejor, recurramos a un ejemplo: la frecuencia del balanceo de un barco en el océano será tanto menor, cuanto más largas sean las ondas.



§ 3.16

Los corredores nos ayudarán a determinar la dependencia exacta entre la longitud de onda λ y la frecuencia de oscilaciones F.

Si es conocido que un corredor da n pasos en el transcurso de un segundo, y que la longitud de cada paso es igual a 1, no supone ninguna dificultad calcular su velocidad V: es necesario multiplicar la longitud de cada paso por el número de pasos dados en un segundo.

Así pues:

$$V = 1 \times n.$$

El "paso" de las ondas electromagnéticas es su longitud λ.

El número de "pasos" es el número de períodos (ciclos) por segundo F.

La velocidad de movimiento de las ondas es también conocida, es igual a la velocidad de la luz C.

Del mismo modo que para el corredor, la velocidad se determina multiplicando la longitud de cada "paso" por el número de "pasos" por segundo:

$$C = \lambda \times F$$

Por esta fórmula puede determinarse la frecuencia de oscilaciones, en caso de que se conozca la longitud de onda:

$F = C / \lambda$

Para asimilar mejor esta dependencia merece otra vez volver a observar a los corredores. Ellos corren con la misma velocidad a pesar de que los pasos del más pequeño son cortos y los del más grande son más largos. Pero el más pequeño logra dar más pasos por segundo.

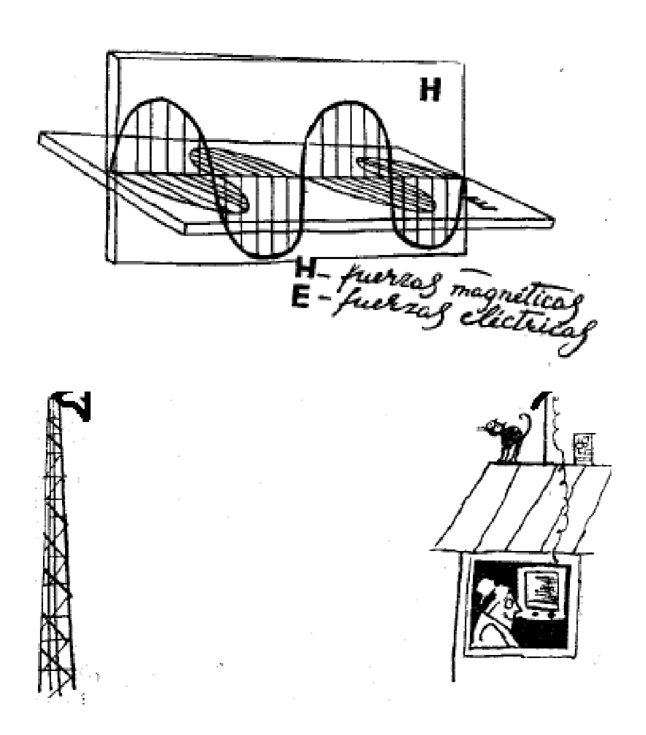
Lo mismo ocurre con las ondas: cuanto más cortas son las ondas, tanto mayor es su frecuencia (número de pasos por segundo). Y la velocidad de propagación de las ondas en el espacio siempre es la misma: 300.000 kilómetros por segundo independiente do la longitud de las ondas.

§ 3.17

De esta manera, precisamente, se imaginó por primera vez las ondas electromagnéticas James Clark Maxwell. Aquí, las dos sinusoides reflejan oscilaciones simultáneas de las fuerzas eléctricas y magnéticas, inquebrantablemente enlazadas en el espacio y en el tiempo.

Estas fuerzas actúan perpendicularmente entre sí, por eso para la representación condicional de las oscilaciones electromagnéticas, las sinusoides se disponen en dos planos.

Al superar las distancias lejanas, la onda se debilita; pero sea cual fuera la energía restante esta será dividida en partes iguales entre sus dos componentes equitativas.



§ 3.18

Las ondas, empleadas en la televisión, tienen el aspecto que se muestra en el dibujo § 3.17. Las fuerzas magnéticas actúan en el plano vertical. Bajo la acción de las ondas en la antena del receptor surgirán corrientes de inducción en aquel caso, cuando las fuerzas magnéticas la cruzan transversalmente. (El que haya olvidado lo que significa inducción, que mire el dibujo § II.18). Por eso las antenas de los televisores siempre se colocan paralelamente a los tejados de Las casas.

En las ondas, que se emplean en la radiocomunicación, las fuerzas eléctricas y magnéticas figuran como si se hubiesen cambiado de lugar (un especialista en este

caso diría: se varió a 90° grados el plano de polarización de las ondas). Por eso es que la antena de radio del automóvil esta dispuesta siempre verticalmente, para así mejorar la recepción.

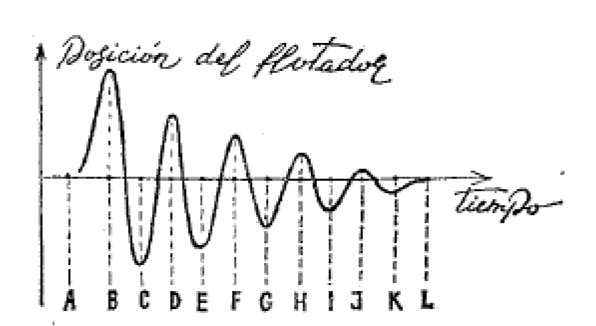
A la matemática le es igual

Para la matemática las ondas electromagnéticas no representan algo excepcional. Para ella este fenómeno es exclusivamente un caso particular dentro de un conjunto, una de las formas de las oscilaciones, que tienen lugar en la naturaleza a cada paso. Ella estudia las oscilaciones sin tener en cuenta su naturaleza. Para la matemática es indiferente que es lo que oscila: la cuerda, el agua, el péndulo, el aire o las fuerzas eléctricas y magnéticas, fusionadas en ondas electromagnéticas.

Todos estos fenómenos la matemática los describe con ayuda de unas mismas fórmulas y unas mismas curvas.

Y no es para nosotros una necesidad el examinar de inmediato las ondas de radio imperceptibles. Es mejor comenzar por las ondas en la superficie del agua, qua ya son bien conocidas por nosotros.

Imagínense ustedes el siguiente panorama. Usted se encuentra sentado a la orilla de un lago con una caña de pescar, vigilando el flotador. En el lago todo esta tranquilo y el flotador esta inmóvil. Pero de repente, brillan al sol las escamas de un pez grande, desplomándose este cerca del pescador. Corren círculos por la superficie del lago, y, cuando la primera cresta alcanza al flotador, este comienza a saltar hacia arriba y hacia abajo. Es un momento impresionante. Parece que el flotador de un momento a otro se zambullirá bajo el agua. Pero no, las ondas se hacen cada vez más débiles, y por fin el flotador queda nuevamente inmóvil en la superficie tranquila del lago. Y de usted se apoderó el despecho: no, no pica.



Casi todo lo comentado se ha reflejado en el gráfico aquí presentado. Se ha tenido en cuenta tanto el flotador como el pez. No se toma en consideración tal vez, la viva impresión del pescador.

El punto A es el momento de la caída del pez. Pasado cierto tiempo la cresta de la primera onda alcanzó el flotador (punto B). Las crestas y las simas de las ondas se siguen unas a otras, obligando a "bailar" al flotador (los puntos B, C, D, E). Pero poco a poco estas se hacen más débiles hasta que al fin y al cabo desaparecen por completo (punto L).

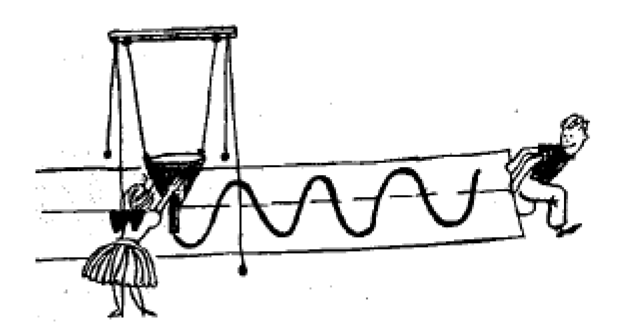


Este aspecto tiene el proceso de las oscilaciones amortiguadas representado en el gráfico.

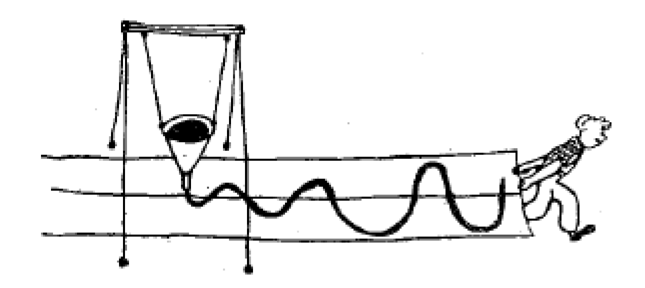
Cuando la mano del músico toca ligeramente la cuerda del instrumento, cada uno de sus puntos se comporta de la misma manera que el flotador. La curva, que acabamos de examinar, puede con el mismo éxito utilizarse en este caso. Pero su escala será distinta, ya que las oscilaciones de las cuerdas se diferencian de las oscilaciones de la superficie del lago por su amplitud y frecuencia (véase § 3.11).

La amplitud es la desviación máxima de la posición media de cualquier punto de la cuerda o del flotador "bailante". En nuestro gráfico cada oscilación sucesiva tiene menor amplitud, ya que nosotros analizamos el proceso de amortiguación.

Ahora nosotros debemos recordar otra vez el circuito oscilatorio en el que a consecuencia del impulso eléctrico surgen oscilaciones con amplitud amortiguada y con frecuencia propia (véase § 3.4 y § 3.5). ¡Otra sorpresa agradable: el proceso que surge en el circuito oscilatorio se puede describir con la misma curva!



Si usted quiere, la misma curva la describirá el columpio. Después del impulso la amplitud del columpio en cada balanceo se hará cada vez menor y él nos dará una curva muy semejante a las curvas del circuito y del flotador. ¿Pero se podría lograr que las oscilaciones no se amortigüen y la amplitud se mantenga constante? Claro que sí. Para esto es necesario tener una fuente de energía externa que asegure los impulsos al compás de la frecuencia propia del cuerpo que se balancea (que oscila).



Para los columpios esta cuestión se resuelve con facilidad: al total de los participantes, en los acontecimientos descritos anteriormente se ha agregado otro más. Si este impulsara siempre el columpio con la misma fuerza, entonces su movimiento se representaría por medio de una curva sinusoidal no amortiguada.

En la radiotécnica el papel de este personaje lo desempeña el tríodo. El proceso de las oscilaciones, que surgen en el generador, es también un proceso sinusoidal. El columpio se mueve bien a la izquierda, bien a la derecha. De la misma manera, cada período de las oscilaciones la corriente varía la dirección.

Así se logra reducir a unas mismas curvas los fenómenos de distinta naturaleza.

En socorro de una voz débil

La antena, conectada al circuito de un generador, es semejante al pez, que cayó sobre la superficie del lago: de ella hacia todos lados se esparcen círculos de ondas radioeléctricas invisibles (véase § 3.13).

Y como flotador, que se balancea en las ondas, sirve otra antena, la antena del receptor: las ondas radioeléctricas que acuden inducirán en la antena, según las leyes de la inducción, una corriente eléctrica alterna. Las ondas que van de la antena transmisora a la receptora, pueden llevar en sí sonidos de música, palabras, cuadros de televisión, el alfabeto Morse u otro código de impulso. De esta forma las ondas radioeléctricas han unido, mediante lazos invisibles pero sólidos, a todos los que hoy viven sobre la Tierra.



Hasta que no fueron creadas las ondas radioeléctricas, la voz del hombre era extraordinariamente débil. Un grito se puede oír hasta una distancia de un kilómetro, si no se pierde dentro de otros ruidos. No tiene nada de asombroso que el gran estruendo de los motores con ayuda de goniómetros acústicos no puede oírse a más de diez kilómetros.

En cambio "montada en las ondas radioeléctricas", incluso, una palabra pronunciada en voz baja, puede dar la vuelta al globo terráqueo.

¿Por qué? Pues porque las ondas radioeléctricas, en su trayectoria del transmisor al receptor, no se debilitan tanto como la onda del sonido.

Y además, con ayuda de la electrónica estas ondas se pueden intensificar.

La onda del sonido son oscilaciones elásticas del aire. Una cuerda de una longitud determinada emite un sonido de un tono puro. Cerca de una persona sentada en una sala de espectáculos pasan, en iguales intervalos de tiempo, capas de aire comprimidas, las crestas de ondas. Si al lado del oyente pasan 100 crestas por segundo, esto significa que la frecuencia de las oscilaciones acústicas es de 100

hertzios. (Las unidades introducidas para la valoración de la frecuencia de las ondas radioeléctricas, obtenidas por Hertz, se emplean ahora exitosamente para la característica de cualquier tipo de oscilaciones y ondas, incluidas entre ellas las acústicas).

A propósito, el oído capta los sonidos, cuya frecuencia se encuentra en los límites de 16 a 16.000 hertzios. Las personas que gozan de un perfecto oído pueden captar sonidos, con una frecuencia de hasta 40.000 hertzios.

Para valorar la energía del sonido originado por la voz, puede citarse este ejemplo evidente. La energía de las voces de 100 000 personas, que hablan simultáneamente, no sobrepasa la energía consumida por una linterna de mano. Y la conversación simultánea de todas las personas que habitan el globo terráqueo no ocasiona más energía que la del motor “Moskvich”.

Al no poseer una gran energía, los sonidos emitidos por una voz o por instrumentos musicales, se estancan en el aire elástico y desaparecen.

Con ayuda de los resonadores acústicos el sonido puede amplificarse solamente en unas cuantas veces. Pero las señales de radio en los receptores modernos pueden ser amplificadas en 10^{14}-10^{17} veces (es decir, de 100 trillones a 100 cuatrillones de veces).

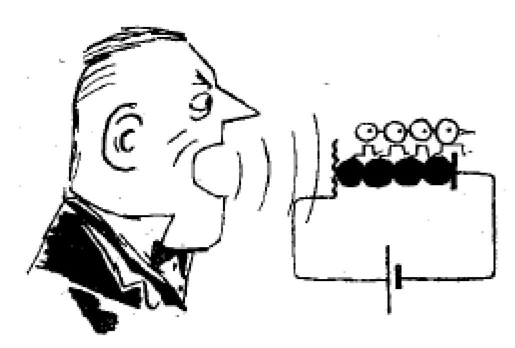
Y otro defecto más de la comunicación sónica en comparación con la radiocomunicación: el sonido, originado en Moscú, alcanzaría Delhi o Nueva York solamente después de pasadas muchas horas.

Para economizar tiempo y fuerzas en una trayectoria larga, el hombre se esfuerza en recurrir a la ayuda del transporte.

Las ondas radioeléctricas sirven al sonido como el medio del transporte más adecuado. La velocidad de un expreso ferroviario no tiene comparación alguna con él: ¡en el transcurso de cada segundo la onda radioeléctrica recorre el globo terráqueo por el ecuador casi 8 veces!

Los electrones y el sonido

Para transmitir los sonidos por radio, es necesario ante todo convertir las ondas acústicas en corriente eléctrica alterna. Esto lo realizan los micrófonos.

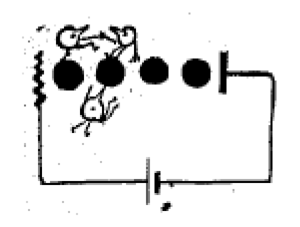


En el micrófono es un dispositivo simple, pero, si algún día se creara un museo sobre la electrónica, una de las salas de este, por su derecho, lo ocuparía el micrófono.

En el ejemplo de este visitante verá, como es posible emplear para un fin práctico diversos fenómenos físicos, estudiados e investigados en diferentes países y en distintos tiempos.

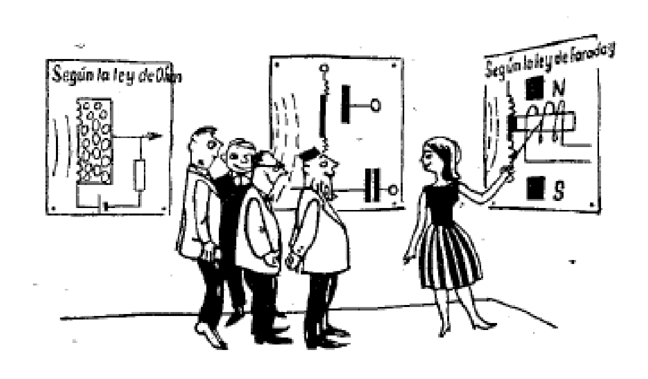
He aquí el micrófono, en el cual se ha empleado la ley descubierta por Ohm y que lleva su nombre.

La membrana vibra bajo la acción de las oscilaciones acústicas. Cuando la presión sobre ella se hace más fuerte, y esto sucede en el momento cuando llega la cresta



de la onda, ésta comprime con más fuerza la capa de polvo de carbón que está situada junto a ella. Las partículas dejarán pasar con facilidad la corriente eléctrica. En este momento la corriente aumenta. Cuántas veces llegan a la membrana las crestas y sin más, tantas veces aumentará y disminuirá la corriente eléctrica en el circuito. Cuando la agudeza del sonido es invariable la corriente varía según la sinusoide con audiofrecuencia.

No en vano la matemática trata todas las oscilaciones con la misma medida: es posible, en realidad, pasar de un proceso oscilatorio a otro, conservando las propiedades de las propias oscilaciones: su amplitud y frecuencia.



Y he aquí otro tipo de micrófono. Aquí se emplean las leyes de la inducción descubiertas por Faraday. La membrana obliga a la bobina a oscilar. La bobina se encuentra en el campo de imán. Al intersecar a las líneas de fuerza del imán en los devanados de la bobina se induce corriente. Su frecuencia es igual a la frecuencia de las oscilaciones de la membrana. La amplitud es tanto mayor, cuanto con más fuerza hace oscilar a la membrana la onda sonora.

Pero existen micrófonos, en los cuales bajo la influencia del sonido varía su capacidad. Y junto con la capacidad varía, además, la corriente.

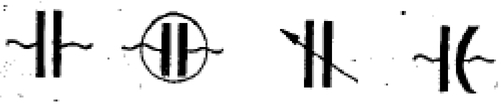
Como pueden observar, hay muchos procedimientos, pero el resultado es el mismo: el sonido origina oscilaciones de la corriente de frecuencia correspondiente.

El condensador previene las catástrofes

§ 3.19

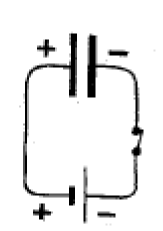
¿Qué sucederá en las calles de una ciudad, si se quitan todas las señales de tránsito? Imaginárselo no es difícil: en cada cruce de calles tendrán lugar interminables catástrofes.

Resulta, que en cualquier esquema electrónico, que ejecuta la amplificación de las señales variables, también existen cruces peligrosos. En lugar de las señales de tránsito, en tales cruces se encuentran los condensadores.



Controlando el movimiento de los electrones, los condensadores ayudan a evitar catástrofes.

§ 3.20



El condensador es un dispositivo sencillo. En el caso más simple este consta de dos placas paralelas, separadas por una capa de aire. Para todos es conocido, que un cristal frío condensa en su superficie gotas de humedad. Un condensador eléctrico, conectado a una fuente de voltaje, condensa en sus placas una cierta carga. Por esta razón este se emplea como "depósito" durante el control del haz electrónico.

Al conectar una fuente de tensión constante a una de las placas del condensador se forma una aglomeración de electrones: surge potencial negativo.

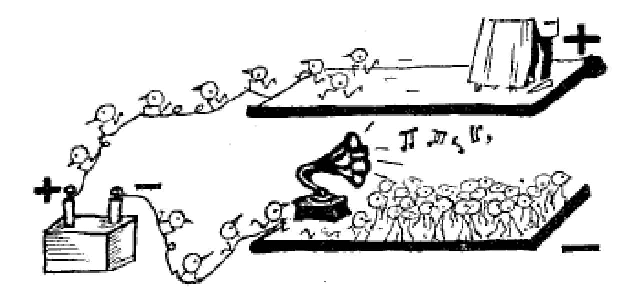
De la segunda placa los electrones salen por un conductor exterior. El potencial de esta placa será positivo.

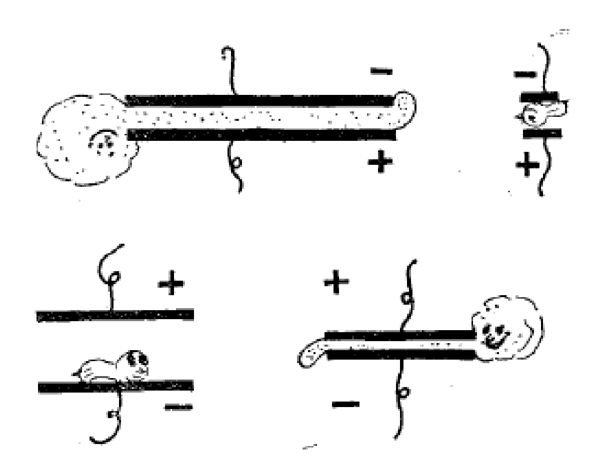
El condensador quedará cargado por completo, cuando la diferencia de potenciales entre sus placas sea igual a la tensión de la batería a la cual fue conectado.

§ 3.21

La magnitud de la carga acumulada por el condensador depende de la capacidad del condensador. La capacidad será tanto mayor, cuanto mayor sea la superficie de las placas.

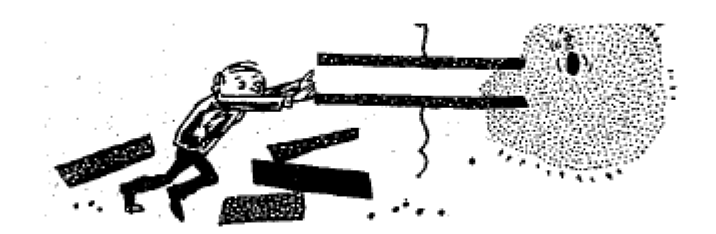
La capacidad aumentará también si se acercan las placas una a la otra. Sin embargo, en este caso, surge el peligro de descarga disruptiva: cuando la tensión es de gran magnitud, entre las placas colocadas cerca una de la otra salta una chispa eléctrica.





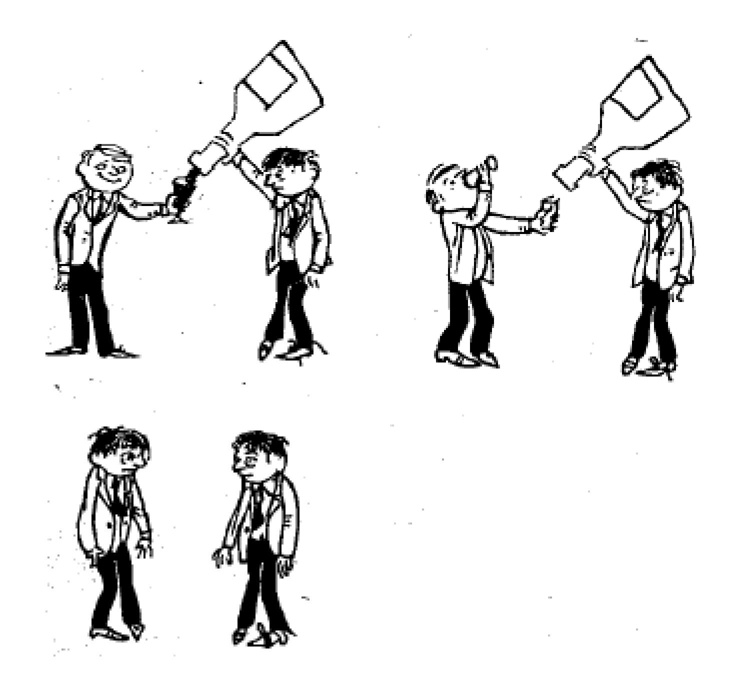
§ 3.22

Sin cambiar las dimensiones geométricas del condensador, es posible aumentar una gran cantidad de veces la capacidad, empleando en calidad de aislador, para la separación de las placas, materiales especiales: mica, cerámica, poliestireno, etc.



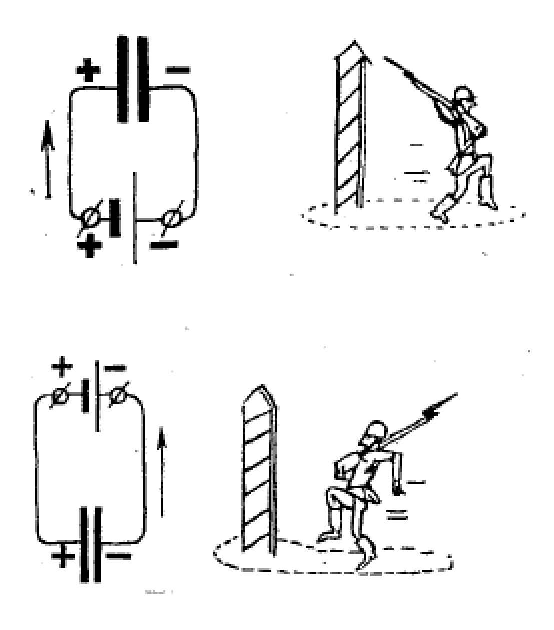
§ 3.23

En un circuito, compuesto de un condensador y de una fuente de tensión constante, la corriente circula solamente mientras dura la carga. Cuando la tensión en el condensador se hace igual a la tensión de la fuente, la corriente en el circuito desaparece.



§ 3.24

Si en este mismo circuito se cambian de lugar los polos de la fuente de tensión sucederá una sobrecarga. La corriente circulará en dirección contraría hasta que la tensión en el condensador se iguale a la tensión de la fuente; ocurriendo esta vez que cada una de las placas del condensador adquirirá una carga de signo contrario.



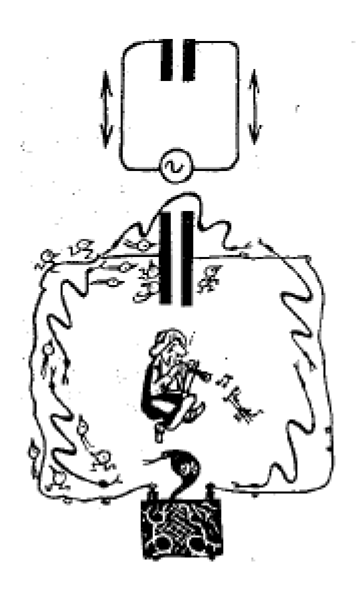
§ 3.25

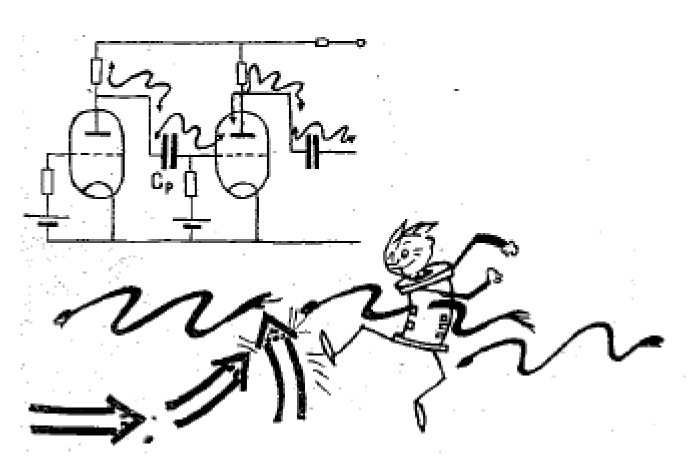
Si el condensador esta conectado a una fuente de tensión alterna que varía, por ejemplo, 1.000 veces por segundo, tendremos que los signos de las cargas en las placas se invertirán 1.000 veces por segundo y 1.000 veces por segundo variará la dirección de la corriente en el circuito exterior. Y por cuanto la corriente en el circuito no cesa, se considera que el condensador "deja pasar" las corrientes alternas, aunque en realidad a través del condensador no circula corriente. A través de la capa aislante, que separa las placas no pasa ni un solo electrón. Los electrones circulan solamente por el circuito exterior.

En el caso de corriente continua observaremos un cuadro distinto. El condensador se carga en un momento determinado, y después de esto la corriente deja de circular, puesto que ningún electrón es capaz de superar el espacio entre las placas. Por el circuito, en el que se ha conectado un condensador, la corriente continua no circula.

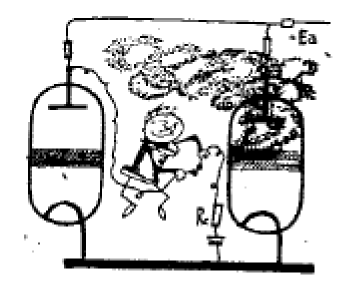
§ 3.26

Esta particularidad del condensador se emplea frecuentemente en la electrónica. El condensador C_p se coloca "en el cruce" de los caminos de las corrientes continua y alterna, entre el ánodo de una lámpara y la rejilla de otra. Este condensador está destinado a separar las corrientes continua y alterna.





Abriendo leal a corriente alta no examinó desde el ánodo hacia la rejilla de la lámpara siguiente el condensador, al mismo tiempo, no deja pasar hacia ésta la corriente continua.



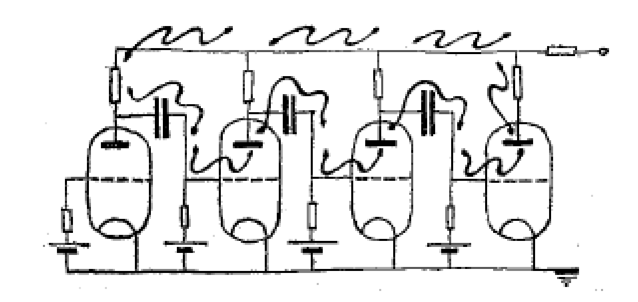
§ 3.27

Basta con que surja un cortocircuito entre las placas de este condensador (por ejemplo, como resultado de una perforación) para que inminentemente ocurra una catástrofe: el alto potencial del ánodo creará una alta corriente a través de la resistencia de la rejilla (R_r). El potencial de la rejilla se hará igual al potencial del ánodo, y la rejilla se quemará.

Un condensador que funcione normalmente deja pasar solamente las corrientes alternas. Por eso él deja pasar libremente a la rejilla las señales que se amplifican y a la corriente continua le cierra el camino.

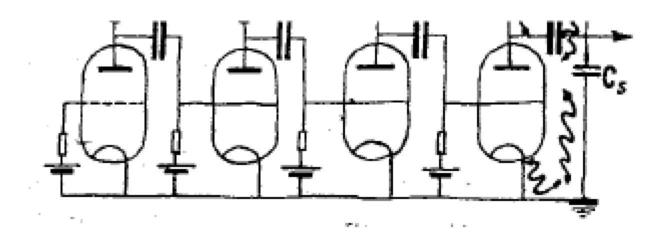
§ 3.28

Otro tipo de catástrofe sucede cuando las corrientes alternas circulan libremente desde el ánodo hacia la fuente de tensión anódica. Desde las últimas etapas la señal fuerte puede regresar a través de la fuente general de alimentación a las primeras etapas, y entonces en el amplificador surgirá una reacción parásita. Semejante amplificador no podrá amplificar las señales de recepción, y comenzará a generar una frecuencia propia.



El condensador C_s ayuda nuevamente a evitar una catástrofe.

Para las corrientes alternas él representa una resistencia muy pequeña, y si el circuito anódico de la lámpara se conecta a través de un condensador a la tierra, entonces la componente alternativa de la corriente anódica pasa fácilmente a través del condensador a la tierra y no llegará a la fuente general de alimentación a través de la resistencia de desacoplamiento R_d.



Ondas excesivamente largas

¿Cómo funciona una estación de radio? Parece que ahora para nosotros todo es conocido, y que fácilmente responderemos a esta pregunta. Pero...

El micrófono convierte el sonido en variación de la corriente: La corriente alterna suministrada a la antena transmisora, se radiará al espacio en forma de ondas radioeléctricas. Las ondas radioeléctricas inducirán corrientes en la antena de recepción. Ellas se pueden amplificar con ayuda de las lámparas electrónicas. La energía de la corriente amplificada obligará a que vibre el difusor del altavoz. ¿Qué es lo que falta aún?

Falta, quizás, lo más importante. El elemento sin el cual los demás elementos no se pueden agrupar en un circuito único.

"..Habla Moscú. Escuchen un concierto de violín en ejecución de..." Tras la voz del locutor (la frecuencia de las oscilaciones de esta es de 80 a 8.000 oscilaciones por segundo) resonaron los sonidos del violín con una frecuencia de hasta 16.000 oscilaciones por segundo, es decir, de hasta 16 kilohertz". (1000 hertzios son 1 kilohertz; 1.000 kilohertz son un megahertz. Estas unidades nosotros vamos a emplearlas en lo sucesivo).

Pero el receptor siempre esta sintonizado a una frecuencia. ¿A cual precisamente? ¿A 80, a 8.000 ó a 16.000 hertzios? ¿Por qué con la variación de la frecuencia de la vibración sonora no es necesario cambiar la sintonización del receptor?

Nosotros acabamos de ver como el sonido se convierte en oscilaciones de la corriente, además, la frecuencia de las oscilaciones de esta es igual a la frecuencia sonora. ¿Acaso no es ésta la corriente que crea las ondas alrededor de la antena? ¿Acaso no son estas ondas las que debe captar el receptor para convertir las nuevamente en sonido?

Si se pudiese emitir al espacio frecuencias sonoras, la cuestión, en realidad, estaría resuelta. Se podría amplificar la corriente que surge en el circuito del micrófono y suministrarla a la antena para la creación de ondas radioeléctricas.

Pero por desgracia la antena puede emitir ondas al espacio solo en el caso de que su dimensión sea conmensurable con la longitud de las ondas que se emiten.

Supongamos que el sonido se ha transformado en oscilaciones de la corriente, la corriente se ha conducido a la antena, la antena emite la onda. Conociendo la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas y la frecuencia de las

oscilaciones de la corriente en la antena, es fácil calcular la longitud de las ondas que se emiten (véase § 3.16).

El sonido crea oscilaciones de la corriente con una frecuencia de 16 hasta 16.000 hertzios. Para 16.000 hertzios la longitud de la onda electromagnética resulta cerca de 19 kilómetros. Por consiguiente, para transmitir estas ondas sería necesario proveer una estación transmisora con una antena de varios kilómetros de longitud.

¡Pero nosotros aún no hemos tomado en consideración las frecuencias más bajas del sonido a las cuales les corresponden ondas radioeléctricas de una longitud de decenas de miles de kilómetros!

Pero incluso si se pudiesen crear tales antenas ciclópeas, el asunto de todos modos no estaría resuelto. Imagínense que todas las estaciones de radio emitan a una misma vez frecuencias sonoras en una gama de 16 hasta 16.000 hertzios. Y su receptor este sintonizado para estas mismas frecuencias. ¡En lugar de una transmisión de radio, escucharían simultáneamente todas las melodías y todas las voces!

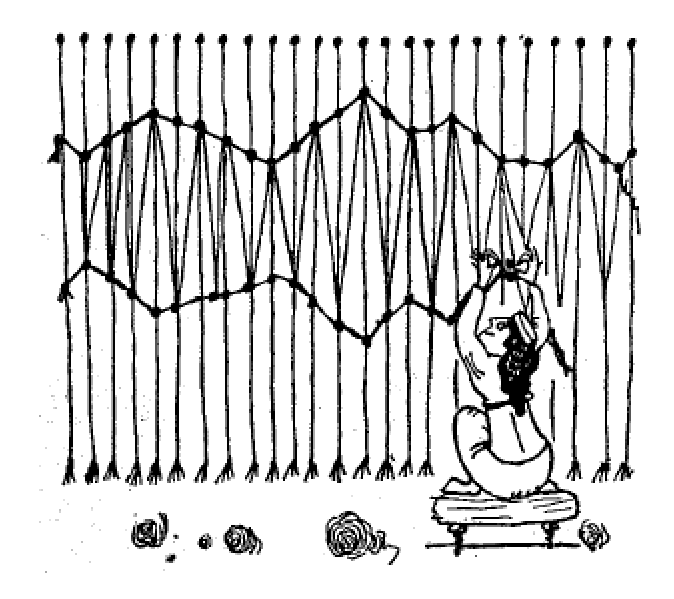
Afortunadamente se ha ideado otro método de radiocomunicación. Este método permite sintonizar el receptor en una de la multitud de estaciones y libra a la técnica de comunicación de antenas gigantes.

Las transmisiones se llevan en una onda portadora.

El tren expreso invisible

Para la transmisión del sonido distancia con ayuda de las estaciones radiodifusoras, la electrónica forma ondas especiales con una longitud de 15 a 2.000 metros, a las cuales les corresponden las frecuencias de 20.000.000 hasta 150.000 hertzios (es decir, de 20 megahertz hasta 150 kilohertz).

Estas frecuencias son demasiado pequeñas en comparación, digamos, con la frecuencia de las oscilaciones de la luz: la frecuencia de las ondas luminosas se mide por miles de millones de megahertz. Al mismo tiempo ellas son demasiado grandes para que puedan ser percibidas como sonido audible. Sin embargo, precisamente estas imperceptibles ondas, las cuales ni se oyen ni se ven, sirven como un excelente “tren expreso” que lleva a través de todas las distancias la música y las conversaciones.



Antes de "emprender el viaje", el sonido, convertido con ayuda del micrófono en corriente eléctrica, con oscilaciones de frecuencias bajas (sonoras), "se montan encima" de las señales de altas frecuencias ya mencionadas por nosotros. Por esto a estas señales se les llama portadoras. Y efectivamente, estas llevan el sonido transformado, primero a la antena, y después, una vez transformado en ondas electromagnéticas, lo llevan a través del espacio y lo conducente hasta los receptores sintonizados para esa misma onda.

Hablando con rigurosidad, el sonido en este caso es transportado "por partes" sobre las crestas de la onda portadora. Pero las crestas se cambian unas a otras con tanta frecuencia que, incluso un dispositivo eléctrico muy sensible a los pequeños lapsos de tiempo no sería capaz de notar las discontinuidades en el "dibujo". Exactamente igual, admirando el complicado dibujo tejido o bordado en una alfombra, no se dan cuenta de que la alfombra se compone de una serie de nuditos o crucecitas.

Pero para esto es necesario que el cañamazo no sea demasiado áspero. Por esta misma causa la frecuencia de las señales portadoras deberá ser muchas veces mayor, que cualquiera de las frecuencias contenidas en el sonido. Por eso para el sonido, que posee una frecuencia no mayor de 16.000 oscilaciones por segundo, se eligen señales portadoras con una frecuencia no menor de 150.000 hertzios.

¿Pero cómo se pueden simultanear unas señales con otras, hacer "montar" las frecuencias sonoras sobre la señal portadora?

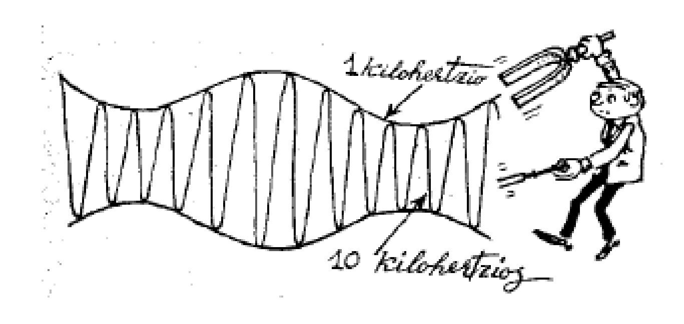
Nosotros, seguramente, ya comenzamos a acostumbrarnos a la idea de que cada vez que en la electrónica se tropieza con una tarea difícil, el tríodo acude en su ayuda.

Por qué es necesaria la curvatura

§ 3.29

En las oscilaciones amortiguadas la amplitud disminuye con el tiempo (véase § 3.5). Las oscilaciones ininterrumpidas tienen una amplitud constante.

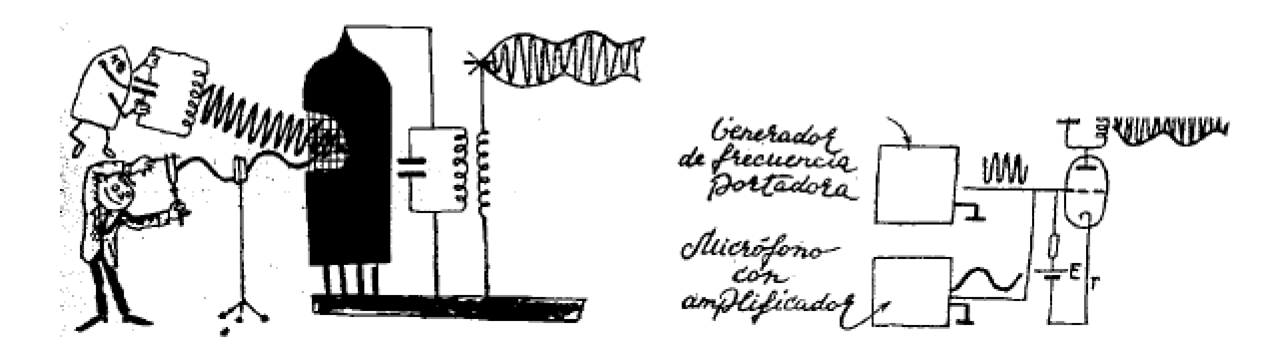
Pero es posible crear oscilaciones eléctricas, cuya amplitud varíe según la sinusoide. Si la frecuencia de las oscilaciones es de 10 kilohertz, y su amplitud varía con una frecuencia de 1 kilohertz, entonces se dice que la señal de una frecuencia de 10 kilohertz está, modulada en amplitud con una frecuencia de 1 kilohertz.



§ 3.30

La señal eléctrica de la frecuencia sonora, obtenida con el micrófono, se puede con ayuda de la modulación “montarla” sobre la señal portadora, creada por el generador. Ambas señales (la portadora y la modulada) se transmiten a la rejilla del tríodo.

El tríodo en dicho caso, desempeña el papel de modulador.



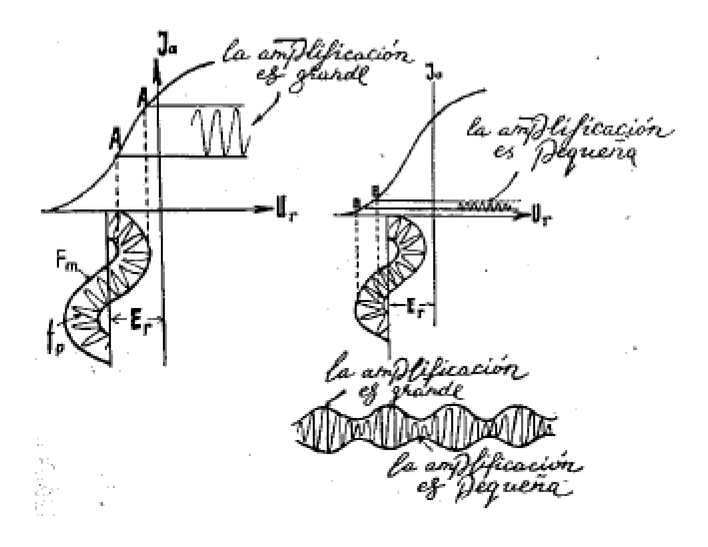
§ 3.31

Para comprender el proceso de modulación hay que recordar la curva característica del tríodo (véase § I.31-1.34).

A la rejilla del tríodo se han transmitido dos señales alternas: la portadora, con una frecuencia f_p, y la moduladora, con una frecuencia más baja, F_m. En un momento determinado la suma de todas las tensiones en la rejilla (la constante de la batería de rejilla E, y las dos alternas con las frecuencias f_p y F_m) es tal, que Las señales actúan en la zona AA.

En otro momento esas mismas señales actuaran en la zona BB. En esta zona las oscilaciones se amplifican menos, ya que la curva característica del tubo en esta zona posee una "curvatura" considerable.

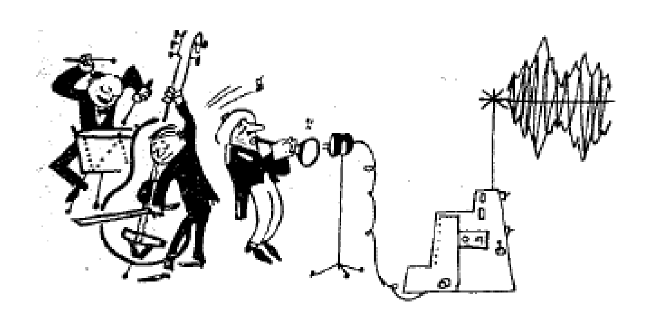
La señal moduladora se "desliza" por la curva característica con una frecuencia F_m. Esto significa, que con la misma frecuencia cambia la amplificación. Como resultado la señal portadora varía en amplitud con una frecuencia F_m. Si no fuera por la "curvatura", la amplificación soda constante y no sería posible obtener una señal modulada en amplitud.



La tensión constante en la rejilla E_F se selecciona de tal modo, que caiga en la parte de la característica, que posee curvatura, es decir, en la zona no lineal de la curva característica.

§ 3.32

Hemos examinado el proceso de modulación con una señal sinusoidal simple. Durante la transmisión de música o de una conversación, del micrófono llega una señal más complicada. Pero la esencia del proceso sigue siendo la misma: debido a la "curvatura" varía la amplificación y sobre la señal portadora que sirve como cañamazo original, se introduce el "dibujo". Este "dibujo" está compuesto de la voz del locutor, de un aria o de apuntes musicales.



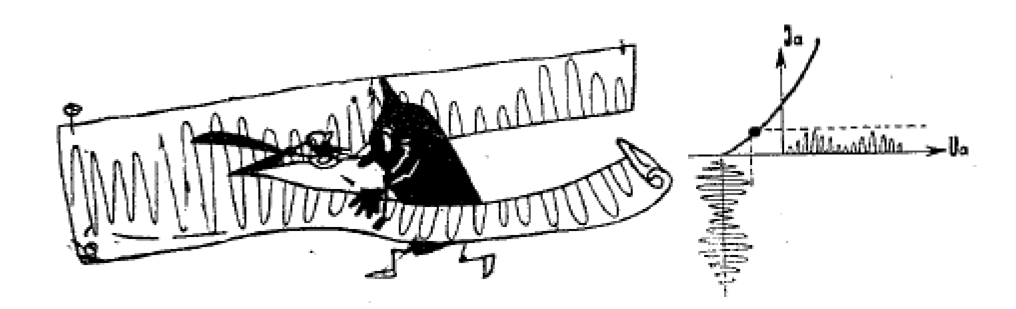
§ 3.33

En el receptor la señal modulada en amplitud se modifica de nuevo. Con ella se practica una operación, inversa a la modulación: el dibujo se separa de cañamazo.

Sin esto no es posible convertir las oscilaciones de la señal eléctrica en oscilaciones acústicas, ya que el difusor del altavoz es demasiado pesado e inerte, como para reaccionar ante las oscilaciones con frecuencia f_p.

Para poner en marcha el altavoz, es necesario poner sobre él el dibujo en blanco.

§ 3.34



El dibujo se corta con ayuda de unas tijeras originales, que se denominan detector. La pieza principal de las tijeras es el diodo. El diodo puede cumplir este papel además, solo porque en su curva característica, hay una zona que posee curvatura. En esta zona una parte de la señal será "cortada" y la parte restante será transmitida al circuito RC.

§ 3.35

Los semiperiodos negativos son "cortados" por el diodo. Durante el tiempo de los semiperíodos positivos a través de él pasa corriente. Esta corriente circula en forma de "saltos" y crea una estacada de pequeñas crestas. La primera cresta de corriente cargará el condensador, después se suscita una pausa, que se prolonga hasta que surja la siguiente cresta. Durante el tiempo de la pausa el condensador se descarga poco: por la derecha la gran resistencia no permite su descarga y por la izquierda, el diodo cerrado.

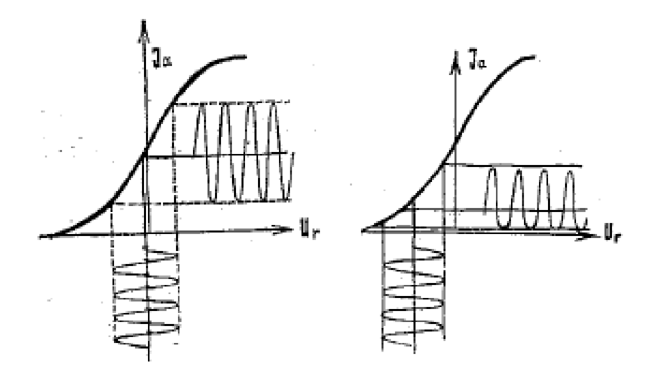
La tensión en el condensador se mantiene casi invariable hasta que aparezca la siguiente cresta.

Si estas crestas tienen distinta amplitud, entonces el condensador con cada cresta se carga de diferente forma, y como resultado en él se desprenderá un dibujo en blanco.

Un retrato desfigurado

Para amplificar las señales sin distorsión, es necesario penetrar en la zona lineal de la curva característica del tubo electrónico. Si violamos esta condición, en lugar de recibir una sinusoide regular obtendremos un retrato desfigurado de ésta.

La lámpara de radio se ha hecho semejante a los espejos oblicuos instalados en las salas de diversión. Aumentando una parte de la imagen y reduciendo la otra, el espejo oblicuo convierte las caras normales en caricaturas divertidas. Está claro, que nadie necesita en la vida cotidiana utilizar tales espejos. ¿Y, los tubos con zonas curvas en la característica?



En el caso en que el tubo debe amplificar sin distorsiones las señales, las zonas curvas de la característica no pueden ofrecer otra cosa que no sea daño. Pero la técnica conoce muchas invenciones, basadas precisamente en el empleo de aquellas propiedades y fenómenos, que en otros cases traían solamente daño.

Recordemos, por ejemplo, la fricción. ¡Cuánta energía gasta inútilmente para vencer la ubicua fricción, cualquier mecanismo! Más sin la fricción, no existirían ni los ejes, ni las transmisiones ni los rápidos automóviles, que corren por las carreteras gracias a la fricción de los neumáticos.

Las chispas que saltan entre los contactos móviles, queman estos contactos y son percibidas por aparatos muy sensibles en forma de interferencias innecesarias. Pero estos fenómenos fueron puestos por la humanidad a su servicio: actualmente con ayuda de las chispas se realiza el tratamiento del metal.

El tríodo puede servir también como un ejemplo vivo de, como en la unión dieléctrica indisoluble de los fenómenos, las mismas propiedades pueden traer a la vez provecho y daño.

Las zonas curvas de la característica distorsionan las señales durante la amplificación. Pero si se le priva al tríodo de este “defecto”, este perdería una buena mitad de esas cualidades, que fueron el motivo de la admiración y el respeto con que el físico Luis de Broglie hablaba del tríodo.

El reino de los espejos oblicuos

Existe un cuento maravilloso del escritor ingles Caroll, “Alicia en el país de las maravillas”. La pequeña Alicia va a parar a un reino extraño, donde toda la realidad circundante se refleja en espejos oblicuos. Todo lo monstruoso que se encuentra en la vida, aquí se ve de la forma más encantadora: la avaricia se convierte en generosidad y el mal en el bien.

En la electrónica también existe un reino, en el que se emplean exclusivamente espejos oblicuos. Es cierto que ellos desempeñan un papel completamente distinto: están designados no a desfigurar la realidad, sino a ponerla de manifiesto.

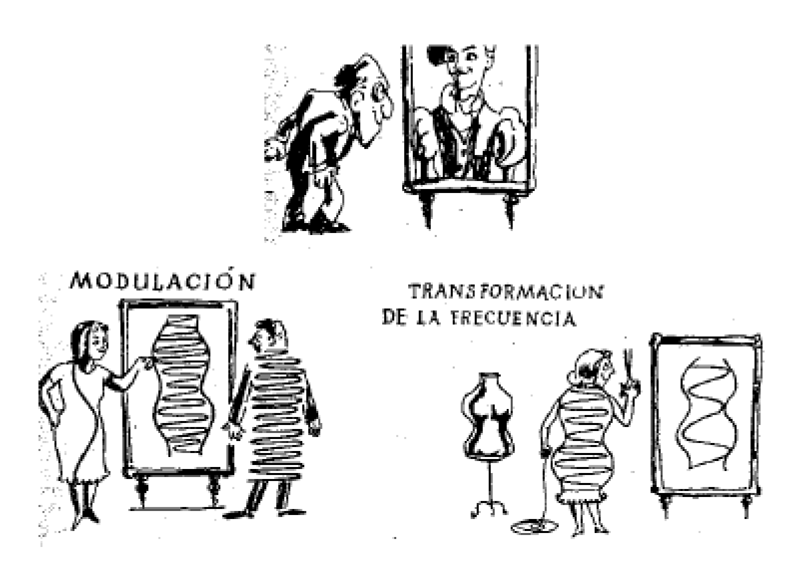
Los espejos oblicuos de la electrónica son las zonas no lineales de las características de los tubos. Con ayuda de estas zonas puede hacerse toda una serie de operaciones indispensables con las señales: superponer sobre una señal portadora música o habla, separar las frecuencias sonoras de las señales portadoras o, manteniendo todo lo que esta escrito en la señal portadora, variar su frecuencia.

La señal, emitida por radio, no será escuchada antes de que ella pase por todos los "espejos". Uno de ellos esta colocado en el transmisor: con ayuda de él el dibujo se lleva al cañamazo. Este proceso se denomina modulación (véase § 3.31; § 3.32).

El cañamazo junto con el dibujo es emitido por la antena transmisora en forma de ondas radioeléctricas. Y la antena del receptor las recibe. Es cierto, que en el sitio de recepción la señal es demasiado débil. Pero no hay nada espantoso, solo hace falta amplificarla.

Al principio se preocupan de no desfigurarla: en la zona no lineal de la característica se amplifican simultáneamente el dibujo y el cañamazo.

Sin embargo, empleando este método las señales débiles no se pueden amplificar hasta la magnitud necesaria. La porque en cuestión radica en que una parte de la energía de la señal amplificada a través de una fuente común de alimentación, a la cual están conectados todos los ánodos, inevitablemente va a parar a la entrada del amplificador. Esto significa que desde el ánodo de la última lámpara amplificadora una parte de la señal regresa a la rejilla de la primera etapa amplificadora y todo el amplificador quedará rodeado de una reacción inversa parásita véase § 3.28). Pero ya sabemos a que conduce esto: gracias a esta reacción se puede mantener en el circuito oscilaciones inextinguibles, generar una señal continua.

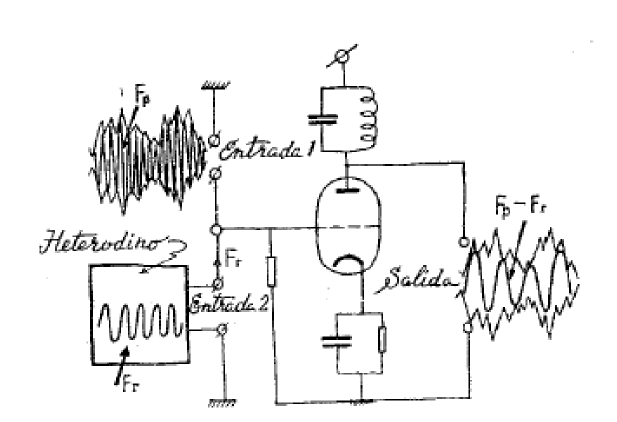


De nuevo, un ejemplo de la dialéctica: el generador no puede funcionar sin reacción, mientras que en el amplificador esta causa daño. Y aunque, al construir los amplificadores, los ingenieros toman todas las medidas para cerrar el paso a la señal con "marcha inversa", esta inevitablemente surge a la entrada.

Cuando la amplificación es grande, la señal a la salida del amplificador posee gran energía. Incluso una parte insignificante de ella, al pasar a través de los circuitos de reacción parásita a la salida del amplificador, será nuevamente amplificada y el amplificador comenzará a generar oscilaciones de frecuencia propia. Entonces la señal débil, proveniente de la antena, se ahogará en las oscilaciones propias del amplificador y el receptor emitirá solamente un silbido estridente.

Para evitar semejantes fenómenos, la amplificación se realiza por etapas. Y en cada etapa se emplean "espejos".

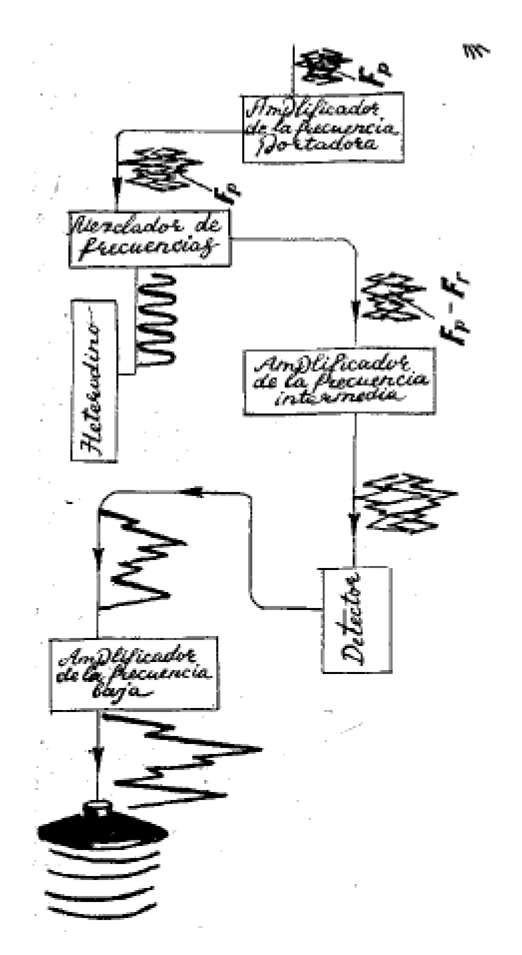
La primera etapa es la amplificación en altas frecuencias. Después, la primera "distorsión": el paso de la frecuencia alta a la intermedia. Este paso se realiza de la siguiente manera. A la zona no lineal de la característica del tubo se transmiten simultáneamente la señal proveniente de la antena, y la señal del generador interno. Este generador se llama heterodino. La frecuencia portadora posee una magnitud de F_O, y la del heterodino una de F_r. La capacidad y la inductancia del circuito, conectado al circuito anódico del tubo mezclador, han sido elegidas de forma tal, que la frecuencia propia del circuito sea igual a la diferencia E_0 - F_r. La señal de la frecuencia diferencial se separa en el circuito del tubo mezclador y sobre él, al igual que antes, se mantiene aquel dibujo que llevaba sobre sí la señal portadora. El “espejo oblicuo” no desfiguró el dibujo, sino que este sencillamente ha sido grabado en un cañamazo más ralo.



Posteriormente, el paso a la segunda etapa: la señal se amplifica a una frecuencia intermedia. De nuevo un “espejo oblicuo", el tubo detector. Aquí el dibujo se separa del cañamazo (véase § 3.34 y § 3.35).

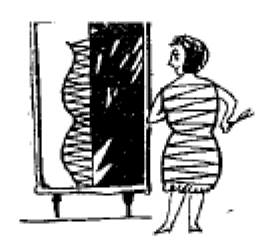
Antes de que el dibujo se lleve al altavoz, es necesario amplificarlo de nuevo; esta es precisamente la tercera etapa de amplificación.

La señal en su receptor, que se encuentra en la sala de su casa, pasa por todas las etapas mencionadas.



Pero el receptor es solo una región del gran "reino de los espejos oblicuos", el no resuelve más que una de las múltiples tareas. Es cierto, que precisamente los transmisores y receptores de radiodifusión dieron al desarrollo de la electrónica el primer impulso. Pero en la actualidad la radiodifusión es solamente una parte reducida de ella dentro del inmenso campo de las más diversas tareas.

Detección



Entre ellas apenas se pueden encontrar una, donde la electrónica pueda pasar sin el "espejo oblicuo", es decir. Sin transformaciones no lineales de la señal: la modulación, la detección de transformación de la frecuencia. Con ayuda de la modulación es posible grabar en la señal portadora no sólo la música o la voz humana, sino cualquier información que se quiera transmitir. Estos pueden ser datos sobre la intensidad de las radiaciones, sobre la presión o la temperatura en el container de una nave cósmica. Esta comunicación se transmite

no mediante palabras: los transmisores especiales transforman la radiación, la temperatura, la presión en la correspondiente señal. La señal se transmite al modulador y como resultado obtendremos el cuadro ya conocido por nosotros con el dibujo y el cañamazo.

En la señal portadora puede grabarse el alfabeto telegráfico o un código convencional especial. En la estación de detección mediante la modulación se crean pequeños impulsos, los cuales, "montados sobre la señal portadora", llegan al objetivo (por ejemplo, al avión del enemigo) y, al regresar, avisan a tiempo sobre el peligro y sobre el lugar donde se encuentra el enemigo. Así, gracias a la modulación por impulsos se pudieron encarnar en los localizadores aquellas cualidades maravillosas que poseía el Gallito de Oro fabuloso.

¿Y la transmisión de la imagen? Sobre esta también se escribieron cuentos. Recuerden los innumerables anillos mágicos, las manzanas mágicas, los platillos con líquido mágico y los espejos mágicos. Estos "instrumentos" de los cuentos permitían ver todo lo que ocurría "tras los bosques, tras los valles, tras los anchos mares" y tras "del fin del mundo".

En realidad todo resultó más sencillo: el espejo no tenía que ser obligatoriamente mágico, este papel lo desempeña la pantalla de un tubo electrónico. Pero antes de aparecer en la pantalla del televisor, el cuadro con la imagen de acontecimientos remotos también debe ser grabado en la señal portadora con la ayuda de "espejos oblicuos" electrónicos.

He aquí el gran papel que desempeña en la electrónica el proceso de modulación; con su ayuda muchos cuentos se pudieron convertir en realidad.

Aquellas cosas, que antaño, en manos de los magos les servían de rescate, hoy día se llevan a cabo con ayuda de la electrónica y de sus maravillosos "espejos oblicuos".

La ionosfera y el billar

Una palabra, pronunciada en Europa, puede escucharse por radio en Australia y en América. En cambio un partido, transmitido por la televisión desde un estadio de Moscú no lo verá en la pantalla de televisión, alejándose de Moscú a unos 150 kilómetros. ¿En qué consiste esto?

La televisión nos ayudó por primera vez a ver la superficie de la Luna. Y de ella, como ya es conocido, nos separa una distancia de 384 mil kilómetros.

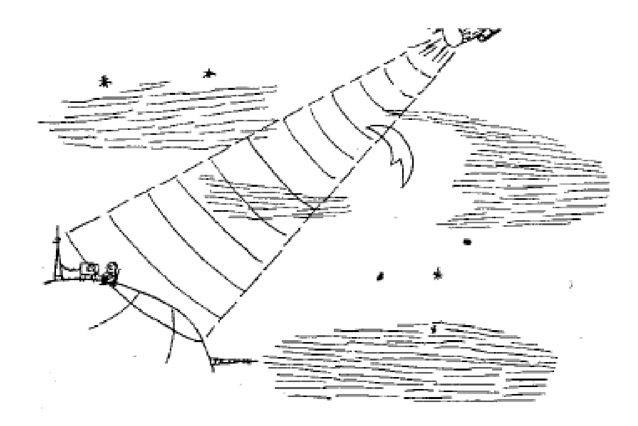
¿Resulta que con ayuda de la televisión es más fácil observar el cosmos que garantizar la comunicación en la Tierra? ¿Cómo se explica esto?

Un especialista respondería a esta pregunta de la forma más lacónica: no se pueden enviar señales de televisión más lejos de los límites de la visibilidad geométrica.

"Visibilidad geométrica" es un término concreto y exacto: las antenas deben "verse" una a la otra, para que la señal emitida por una de ellas, pueda ser recibida por la otra. Basta con que la antena receptora se oculte tras el horizonte, para que inmediatamente desaparezca la comunicación. La línea del horizonte es para la televisión un límite prohibido singular. Pero en el cosmos no hay horizonte. La visibilidad geométrica aquí no tiene límites: ¡mire, si así desea, mil millones de años luz en adelante! Si podrá ver algo allá, esto es otro asunto. Pero el camino para la señal esta abierto y mientras que la nave cósmica no se oculte tras de algún cuerpo celeste, con ella se podrá mantener la comunicación de televisión. En la Tierra esta cuestión es diferente: en la Tierra molesta la Tierra.

No obstante abandonemos para un tiempo el cosmos, bajemos del cielo a la Tierra y hagámonos una nueva pregunta ¿Cómo entonces viaja una voz, transmitida a otro continente? ¿Por qué en este caso la esfericidad de la Tierra no molesta a las ondas radioeléctricas?

Cuarenta y cinco años atrás, esta cuestión era para la ciencia un enigma. En los primeros tiempos la electrónica se valía de las ondas largas (de 800 hasta 3.000 metros), que teniendo la capacidad de contornear la superficie terrestre, garantizaban una comunicación de largo alcance. Pero estas ondas no pueden contornear todo el globo terráqueo y por eso no se puede, con tales ondas, garantizar la comunicación, por ejemplo, de Australia con América o con Europa.



Eran también conocidas las ondas cortas (de 10 hasta 100 metros). Por cuanto ellas se propagan en forma rectilínea y no pueden contornear la Tierra, se consideraba, que ellas no pasan del horizonte visible. Por esta razón estas fueron referidas al grupo de las ondas no usuales, por lo que no se proyectaron estaciones para trabajar con ondas cortas. Esta gama de ondas se la entregaron como rescate a los radioaficionados, que ya entonces los había de sobra.

De súbito tuvo efecto un hecho que puso a los especialistas en un callejón sin salida. ¡Resultó, que con ayuda de las estaciones de radioaficionados de ondas cortas se podía mantener comunicación con cualquier punto de la Tierra! Los pequeños transmisores, que consumían no más energía, que una bombilla de 20 bujías, enviaban las señales más lejos que una estación de ondas largas con una potencia de varios kilovatios.

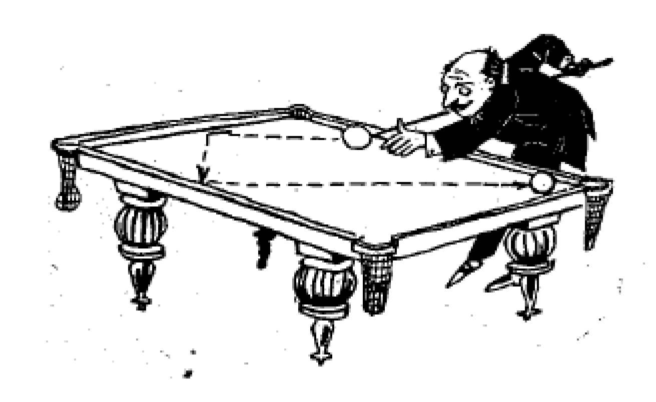
Aún más. Aquellos mismos transmisores no se podían escuchar al alejarnos de ellos a unos doscientos kilómetros. Resultaba como si al recorrer un corto camino la señal "se muriera de cansancio", y después, al otro lado del mundo, resucitase.

El enigma parecía no solucionable.

Mejor que nadie sabía adivinar semejantes enigmas el científico soviético Mijail Vasilievich Shuleikin. ¿Recuerdan como él descubrió el secreto de la radiación continua de las estaciones de radio creadas por los alemanes en tiempo de guerra?

Mijail Vasilievich dio una explicación exacta al extraño comportamiento de las radio-ondas cortas. El cálculo que las ondas cortas, que van próximas a la superficie de la Tierra, en realidad pierden rápidamente su fuerza, ya que ellas con más intensidad que las largas, son absorbidas por la superficie de la corteza terrestre. Pero, incluso,

en el caso en que una estación emita una señal de onda corta con gran reserva de energía, esta de todos modos no podrá irse muy lejos en la Tierra. Las ondas cortas no pueden contornear la Tierra. Esto significa, que en todos los casos la línea del horizonte será para ellas un límite prohibido.

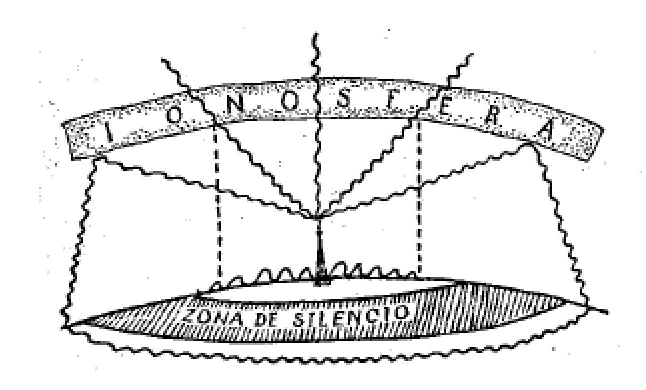


Pero la naturaleza les dio otra posibilidad para realizar viajes largos.
En las capas superiores de la atmósfera terrestre, bajo la influencia de la radiación del Sol y de la lluvia de meteoritos, se forma una capa ionizante. En esta capa las moléculas neutras del aire se desintegran en iones y electrones, y toda ella representa en sí un babel en movimiento de partículas que poseen carga. Las ondas cortas (de 10 hasta 100 metros) se reflejan en esta capa, de forma semejante a como el rayo de la luz se refleja de la superficie de un espejo o el sonido de un obstáculo. Pero incluso se puede comparar esta capa con el borde de una mesa de billar. A propósito, los especialistas de comunicaciones se valen de esta al igual que los jugadores de billar se valen del borde: si la bola no puede ser dirigida en línea recta a la tronera, se puede jugar de rebote en el borde.
Con este mismo rebote llegan a sus receptores las ondas de las estaciones lejanas que emiten señales de onda corta. Con esto ella puede sufrir no solamente un rebote, pues la Tierra también juega el papel de borde original de una mesa de billar.
Sin embargo, en caso de que el receptor este colocado a una distancia de 200 kilómetros de una estación, no habrá onda que llegue hasta él. El horizonte es el que cierra el paso a las ondas, que "caminan" por la superficie. En este caso no se puede hacer uso del rebote, puesto que para ello la distancia de 200 kilómetros es

demasiado pequeña. Es conocido, que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. Para que la onda, después de reflejarse, llegue al receptor, alejado a 200 kilómetros, es necesario enviarla a la ionosfera, casi bajo un ángulo recto. Esta penetra bruscamente en la capa ionizante de la atmósfera y atravesándola, se aleja hacia el lejano cosmos, despidiéndose para siempre de la Tierra. Así surge la zona de silencio, que envuelve, alrededor de la estación de radio, un sector determinado de la Tierra.

Cerca de la estación se oyen las ondas, que se desplazan en línea recta. A larga distancia se encuentra la trayectoria pendiente para las ondas que experimentan el rebote. Y a la Zona de Silencio, a aquellos sectores, situados ni cerca ni lejos de la estación, no lleva ningún camino.

Precisamente fue esta circunstancia la que provocó la confusión en lo que respecta al alcance de la comunicación con señales de onda corta. La desaparición de la señal en la zona de silencio y su aparición a mayores distancias no era tan fácil de explicar.



Ahora ya se ha estudiado la influencia de la ionosfera sobre las ondas de cualquier longitud. Las ondas de 100 hasta 1.000 metros (las así llamadas ondas medias) son fácilmente reflejadas por la ionosfera sólo de noche. Por el día la composición de la ionosfera varía, y la energía reflejada se hace insuficiente para una comunicación fiable en este intervalo. Aquel que se dedica a captar estaciones lejanas, evidentemente ha notado esta particularidad de las ondas medias.

Las ondas largas (de más de 1.000 metros de longitud) no son reflejadas por la ionosfera ni de noche ni de día.

En lo relativo a las ondas ultra cortas (de 10 metros y menos), para ellas la ionosfera se presenta como una barrera no más densa, que lo que un tamiz para el agua. Toda su energía se infiltra a través de esta capa, sin reflejarse hacia atrás. Es por esto que las antenas de televisión deben "verse unas a otras" obligatoriamente, en efecto, para la televisión la señal portadora es la señal de ondas ultra cortas y ella no rebota en la capa ionizante.

¿Pero por qué los creadores de la televisión eligieron las ondas más incómodas?

Porque solo las ondas ultra cortas pueden servir como señal portadora para la televisión, sólo ellas están capacitadas para llevar hasta el receptor el complicado dibujo, en el cual va contenido del cuadro visible. En la televisión no existe nada casual. Todo aquí se ha obtenido durante largos años: la construcción de los tubos, el método de confección de los cuadros visibles y la longitud de las ondas portadoras. Y todo esto está interrelacionado: para elegir las ondas portadoras, hay que imaginarse de que forma, con ayuda de los aparatos electrónicos, se crea la imagen en un cuadro de televisión.

Así se crea la imagen

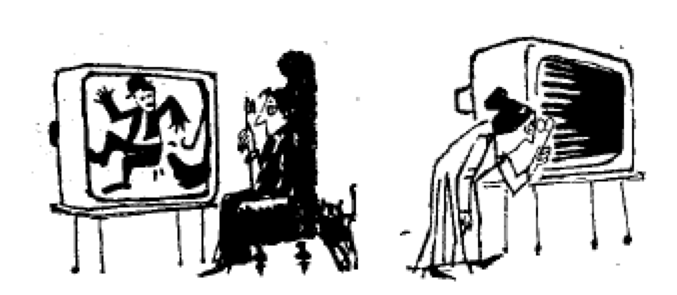
§ 3.36

Mirando atentamente a la imagen de la pantalla de televisión, se puede notar, que esta consta de una gran cantidad de rayas horizontales; estas se llaman líneas. Cada cuadro transmitido consta justamente de 625 líneas.

El movimiento del haz por las líneas del cuadro es muy parecido al movimiento del ojo durante la lectura de un libro: recorriendo una línea de izquierda a derecha, el haz regresa rápidamente a la parte izquierda de la pantalla, es decir, al comienzo de la siguiente línea. Durante 1/25 parte de segundo el haz logra “dibujar” en la pantalla las 625 líneas que componen un cuadro. Luego, también durante 1/25 parte de segundo, se “dibuja” el siguiente cuadro. Durante un segundo los cuadros se sustituyen exactamente 25 veces.

§ 3.37

El número de líneas en un cuadro y la cantidad de cuadros en el curso de cada segundo se han elegido no de un modo casual. Aquí se han tenido en cuenta dos propiedades de nuestra vista: la capacidad de inercia y el poder de resolución.



Se le llama capacidad de Inercia a la capacidad de la retina del ojo de retener determinado tiempo el contorno de la imagen que se acaba de ver. El objeto que se observa puede desaparecer del campo de su visión, pero gracias a la capacidad de inercia, él se mantendrá en la retina de su ojo aproximadamente 1/15 parte de segundo.

Si los cuadros de televisión se sustituyeran con menos frecuencia de 15 veces por segundo, entonces la imagen en la retina desaparecería antes de que en la pantalla apareciera el siguiente cuadro. El ojo comenzaría a fijar la cadencia de los cuadros. Semejante transmisión el televidente la percibiría como un centelleo.

Además de esto, es necesario tener cuenta que en la pantalla casi siempre se mueve algo. Si entre cuadro y cuadro algún objeto se desplaza visiblemente, al televidente le parecerá que se mueve a saltos.

Es posible, que ustedes hayan podido ver de qué forma cómica se mueven las personas en las películas viejas. Esto se explica porque el número de cuadros por segundo entonces era demasiado pequeño: 16 cuadros por segundo. Para evitar esto, en la televisión, el número de cuadros por segundo se aumentó hasta 25.

§ 3.38

La distancia entre las líneas de un cuadro se elegía de tal modo que el televidente, sentado a la distancia de un metro de la pantalla, no pudiera ver líneas separadas. Él ve todo el cuadro bajo un ángulo de unos 10 grados, es decir, 600 minutos angulares. El poder de resolución de nuestra vista permite ver dos líneas por

separado, en caso de que el ángulo sobrepase a 1 minuto. Para la fusión de las líneas en el cuadro, su cantidad no deberá ser menor de:

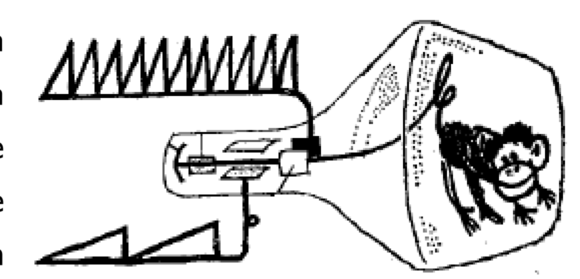
600'/1' = 600 líneas

En la realidad esta cantidad es de 625.

§ 3.39

Como hacer que el haz corra a lo largo de la línea, ya lo sabemos: es necesario suministrar una sierra (* Véase el capítulo I los apartados: "Huella de los invisibles" y "Casi como en un manual de problemas y ejercicios") a las placas desviadoras horizontales.

Al recibir la imagen del impulso el haz repite constantemente el recorrido a lo largo de una misma línea en el centro de la pantalla. En la televisión cada nueva línea debe pasar más abajo que la anterior. Para esto es necesario que el haz, moviéndose de izquierda a derecha, simultáneamente se desplace hacia abajo. Con este objetivo en el segundo par de placas del tubo electrónico se puede aplicar una "sierra" más lenta. Mientras que un diente de la sierra lenta desplaza en las de la parte superior a la inferior de la pantalla, la sierra rápida crea 625 dientes que obligan al haz a repetir el camino de izquierda a derecha 625 veces. En los televisores con tubo grande, por ejemplo, en el "Rubín" y en el "Almáz", la velocidad del desplazamiento del haz por las líneas alcanza casi los 30.000 kilómetros por hora. (La circunferencia del globo terráqueo posee una longitud de casi 40.000 kilómetros).



En los receptores de televisión modernos el haz es controlado no por las placas, silo por el campo magnético de las bobinas. Al arrollamiento de las bobinas se suministra corriente de diente de sierra.

§ 3.40

Si durante el tiempo del recorrido del haz por el cuadro su brillo permanece invariable, toda la pantalla será iluminada de forma regular y el cuadro será "ciego".

Pero generalmente el brillo del haz varía constantemente. En la pantalla se alternan manchas claras y oscuras, las cuales, como un mosaico, forman el paisaje, el episodio de un partido de fútbol, la cara del locutor en gran plano, es decir, todo lo que generalmente se presenta en la pantalla de televisión.

§ 3.41

Si el cuadro consta de detalles grandes, las líneas contiguas estarán iluminadas igualmente. En la transmisión de detalles pequeños pueden incluso diferenciarse por la brillantez dos líneas contiguas. Y a lo largo de cada línea pueden caber un número determinado de elementos del "mosaico". Cuanto mayor sea la cantidad de estos elementos, tanto más nítida será la imagen, tanto mejor se verá en la pantalla cualquier detalle pequeño. Si el brillo del haz cambiara con cada línea, en la vertical cabrían 625 elementos del "mosaico". En una pantalla cuadrada esta misma cantidad de elementos es conveniente disponerlos a lo largo de cada línea.

En total en la pantalla caben:

$$625 \times 625 = 390.625.$$

Generalmente el ancho del cuadro compone 4/3 de su altura. En este cuadro debe caber la cantidad de elementos:

$$625 \times 4/3 \times 625 = 500.000.$$



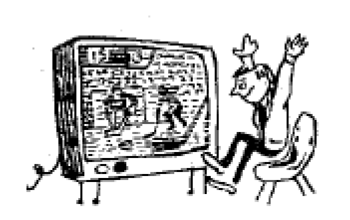
Supongamos que cada uno de los elementos de la imagen debe diferenciarse de los contiguos por su brillo. ¿Con qué frecuencia debe variar, en esas condiciones, el brillo del haz? Separemos todos los elementos por pares (claros y oscuros). Recorriendo cada par, el haz varía su brillo. En el curso de cada cuadro el haz

recorrerá 500.000 elementos o 250.000 pares. Con esto él deberá variar el brillo 250.000 veces (si el elemento dado es claro, entonces el que le sigue ha de ser oscuro).

Durante un segundo se cambian 25 cuadros. Por consiguiente, el haz durante un segundo deberá variar el brillo: 250.000 x 25 = 6.250.000 veces. Esto significa, que la frecuencia de variación de la corriente en el haz es de 6.250.000 hertzios, o 6.25 megahertz.

§ 3.42

Por supuesto que, no toda imagen deba contener en sí todos los 500.000 elementos del "mosaico". Pero en cada cuadro, a la par con los detalles grandes hay también muchos pequeños: los rasgos de la cara, que reflejan la mímica de un talentoso actor, los trazos marcados por la mano de un pintor, las letras de un texto menudo, el pequeño puck de hockey, etc. etc. Para que todos estos detalles sean vistos claramente en la pantalla de su televisor, es necesario tener en cuenta, que la frecuencia de variación del brillo en los casos extremos alcanza los 6,25 megahertz. El haz cambia el brillo bajo la influencia de aquellos "dibujos" que con ayuda de la modulación fueron aplicados en la señal portadora de la imagen.



Conociendo con que frecuencia puede variar el dibujo, no es difícil determinar la frecuencia portadora. Por cuanto la señal portadora sirve de cañamazo su frecuencia ha de sobrepasar a la frecuencia del dibujo aproximadamente en 10 veces. Solamente en estas condiciones todos los matices del dibujo serán transmitidos punto por punto a las crestas de la onda portadora (Véase el capítulo III "El tren expreso invisible".). Esto significa que la frecuencia portadora de las señales de televisión debe ser del orden de 6,25.10 = = 62,5 megahertz.

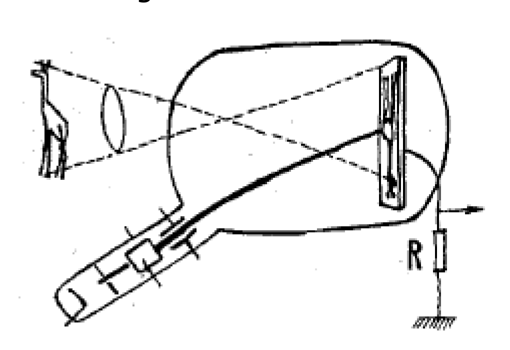
A tal frecuencia corresponden ondas con una longitud de 4,8 metros. Estas son precisamente aquellas ondas "incómodas" para las cuales el horizonte es un límite prohibido.

Como se transpone la imagen

El dibujo, en el cual va contenida la voz del locutor o el sonido de un instrumento musical, se crea con ayuda del micrófono. El micrófono transforma las vibraciones acústicas del aire en corriente alterna oscilante.

¿Y cómo se crea el dibujo que contiene la imagen?

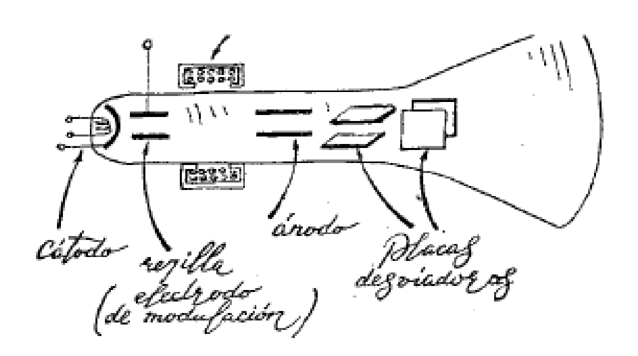
Aquí viene nuevamente en ayuda el tubo electrónico, pero el principio de funcionamiento, y la estructura de este tubo (se le llama tubo analizador o iconoscopio) se diferencia sustancialmente de aquellos tubos sobre los cuales se ha hablado hasta ahora. La capa, con la cual se recubre la pantalla de este tubo, posee una propiedad especial: la resistencia eléctrica de esta será tanto menor, cuanto más fuerte sea iluminada. La transmisión se realiza de la siguiente manera.



En la pantalla, con ayuda de lentes ópticos corrientes se proyecta la imagen, la cual es necesario primero convertirla en oscilación de la corriente, y después en ondas electromagnéticas, que se emiten al éter. Por detrás de la pantalla, del mismo modo que en el tubo de un televisor corriente, desarrollando línea por línea, se desliza el haz electrónico. El flujo de electrones baña la superficie interna de la pantalla, como el chorro de una bomba de incendios que se desliza por un cristal. Los torrentes de electrones corren por la capa conductora y desembocan en la tierra a través de la resistencia R. Cuanto más iluminada esté la superficie de la pantalla, tanto más fuertes serán los torrentes, ya que la resistencia de la capa conductora disminuye debido a los rayos luminosos.

Cuando el haz, que se desliza por las líneas, va a parar a las partes claras de la imagen, el torrente que corre a través de la resistencia R alcanza una magnitud considerable. Cuando el haz se desplaza hacia la zona de la pantalla débilmente iluminada, la corriente se hace más débil. El haz recorre línea tras línea, transformando la imagen en corriente eléctrica incesantemente variable en el tiempo. Así surge el dibujo. Si ahora con esta corriente (mas exactamente, con el voltaje que crea esta corriente en la resistencia R) se modulan las ondas ultracortas, el dibujo que contiene la imagen, se "monta sobre" la señal portadora.

El destino de esta señal en el receptor de televisión es semejante al destino de las señales de las estaciones de radiodifusión: ella también se amplifica allí por etapas, pasando a través de un sistema de “espejos curvilíneos”. Al principio ésta se amplifica en altas frecuencias, luego en intermedias, a continuación se somete a rectificación y en la última etapa se amplifica el dibujo en blanco.



¿Y a continuación? El viraje del destino, posiblemente, parezca inesperado. Después de alcanzar la meta, la señal debe nuevamente realizar una modulación: esta vez ella modula el haz. Para esto, como complemento de aquellas piezas, que fueron examinadas por nosotros en el dibujo 1.19, en el tubo de televisión se influye otro electrodo modulador. A este se le llama también rejilla, ya que del mismo modo que la rejilla en el tríodo, la rejilla en el tubo de televisión influye sobre el flujo de electrones que forman el haz. A este electrodo irá a parar el dibujo, que contiene la imagen en el cuadro. Con la variación del voltaje en el electrodo modulador varía el brillo del haz.

Para que todos los elementos del "mosaico” vayan a parar a los puntos necesarios de la pantalla, junto con la señal de la imagen en la señal portadora se han grabado impulsos especiales. Estos impulsos sirven como señal de inicio en las carreras del haz por la pantalla del receptor.

En el transcurso de toda la transmisión los haces de todos los televisores simultáneamente con el haz del tubo transmisor toman la partida y alcanzan la meta, dando comienzo y fin al cuadro 25 veces por segundo.

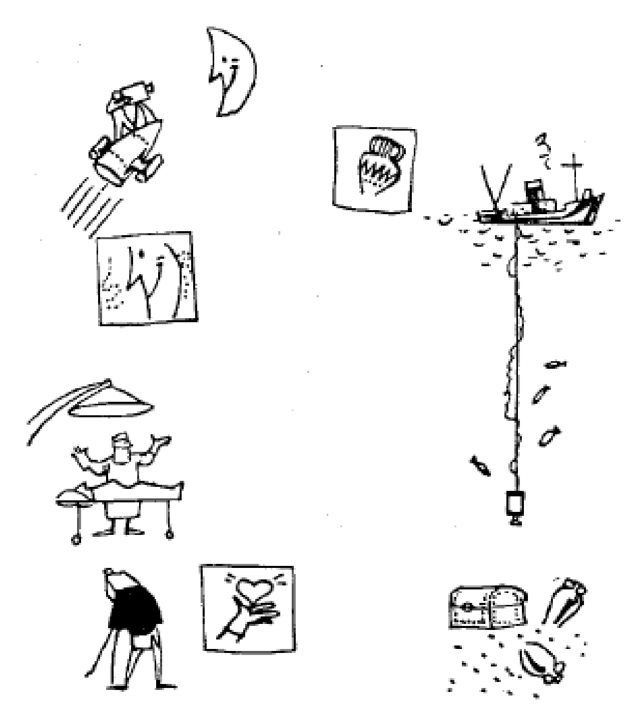
Millones de haces en cualquier instante pasan por un mismo elemento del "mosaico”. 25 veces por segundo en millones de pantallas se dibuja punto por punto un mismo cuadro.

El ojo electrónico lo ve todo

§ 3.43

La televisión se afianzó en nuestra vida cotidiana. En diversas ramas de la ciencia y la técnica ella desempeña un papel no menos importante. Con ayuda de un ojo electrónico especial se observa como el metal incandescente llena los moldes, como transcurre un proceso radioactivo, peligroso para la vida, muestran en un auditorio lleno de especialistas una operación delicada, que se lleva a cabo por un cirujano hábil y experto.

Una telecámara compacta en una perforadora geológica permitió investigar capa por capa la roca a gran profundidad. Antes de ponerse en práctica la televisión para la investigación de cada capa había que extraer la perforadora a la superficie con muestras del suelo.



Con ayuda de las telecámaras hallaron el submarino hundido "Hefrey” y ánforas en las cuales los antiguos griegos transportaban el vino desde la isla de Rodas a Marsella.

Los buques pesqueros persiguen los cardúmenes de peces llevados por su lazarillo, que por lo general es un avión. Colocando en el avión una cámara de televisión, se puede transmitir a las embarcaciones la imagen de dicho cardumen.

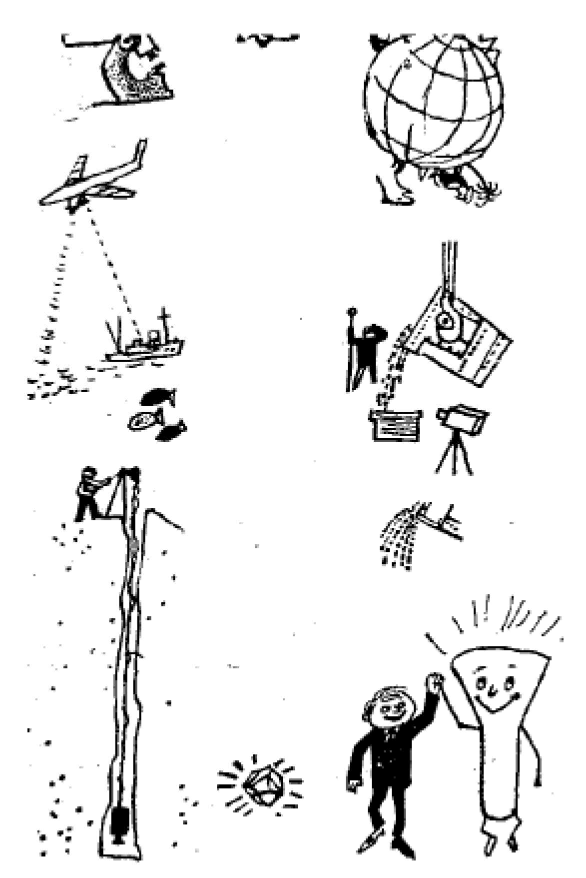
Con ayuda de la televisión primeramente se transmitía a la Tierra la imagen de nuestra vecina más cercana en el cosmos y después los primeros pasos del hombre en la Luna.

Es evidente, que también en el futuro los aparatos electrónicos van a "visitar" a muchos cuerpos cósmicos algo antes de que el hombre pueda volar hasta ellos.

Con ayuda de la televisión se realizan procesos tecnológicos muy precisos. Para elaborar con exactitud el diámetro de un cable de varios micrones en la confección de triodos semiconductores era necesario durante muchas horas observar por el microscopio y medir el grosor del cable. Ahora es el tubo electrónico el que mira al objetivo. La dimensión de la imagen se compara con la señal patrón. Si el cable se

ha hecho más grueso o más fino aunque sea en décimas partes de micrón, inmediatamente surgirá una corriente diferencial y el dispositivo automático lo desecha.

Las telecámaras corrientes, por su esencia, no son "videntes"; ellas solamente reproducen la imagen, el hombre es quien la ve. Pero en los últimos años han sido creados dispositivos tales, que pueden efectivamente ver los objetos y distinguir sus rasgos característicos: distinguir un perro de un gato y reconocer las letras del alfabeto independientemente del carácter y las dimensiones de estas.

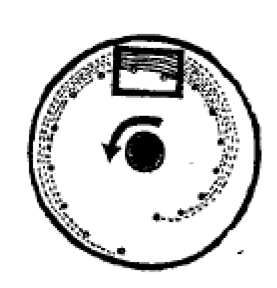


La base de estos dispositivos (se denominan perceptrones) es el mismo tubo electrónico. Pero para que el aparato pueda "reconocer" los objetos, las señales sufren una compleja elaboración con ayuda de aparatos calculadores electrónicos.

¿Dónde conseguir cien soles?

El primer proyecto de televisión fue propuesto por el ingeniero polaco Nipkov. En lugar de la pantalla del tubo transmisor él empleó un disco con una multitud de orificios circulares. En el disco se proyectaba la imagen. Al girar el disco cada uno de los orificios delineaba una línea. Y debido a que los orificios estaban dispuestos en forma de espiral, cada línea sucesiva se trazaba debajo de la anterior. La luz, pasando a través del orificio, iba a dar al fotoelemento.

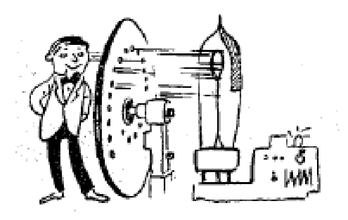
Por cuanto toda imagen consta de puntos claros y puntos oscuros, el brillo del haz, y junto con él la corriente del fotoelemento, cambiaban muchas veces su valor, hasta que uno cualquiera, de los orificios trazaba la línea sucesiva. Pero todos los 30 orificios (esa era precisamente la cantidad en el disco de Nipkov) exponían la imagen en 30 líneas, transformándola en una corriente eléctrica incesantemente variable en el tiempo. Con esta corriente pulsatoria se modulaba la señal portadora.

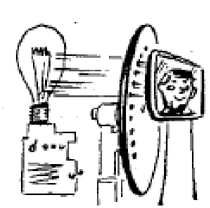


En el receptor esta corriente obligaba a la lámpara eléctrica a "parpadear". Entre la lámpara y la pantalla se colocaba el segundo disco de Nipkov. Sus orificios delineaban en la pantalla las líneas simultáneamente (sincrónicamente) con el disco en el terminal de emisión. Tal idea de transmisión de la imagen es bastante sencilla. ¡Pero que ajetreo tuvo lugar cuando se intentó poner esto en práctica!

En los años 30 en Moscú en la calle 25 de Octubre (en aquel tiempo se llamaba Nikolskaya) funcionaba un estudio experimental de televisión. Este utilizaba los discos de Nipkov. Lo que de esto se obtuvo, bien lo describen las revistas de aquellos años:

"Antes de comenzar una transmisión de televisión, suceden muchas escenas cómicas. El actor esta acostumbrado al maquillaje corriente del teatro. Los labios deben ser rojos esto es una ley. Cual es su asombro, cuando el maquillador le pinta los labios... de color verde oscuro. ¡Al que había interpretado cientos de papeles, que se le había maquillado a imitación de Otelo, de un negro y de Quasimodo, nunca le habían pintado con colores de una exótica cacatúa"!.





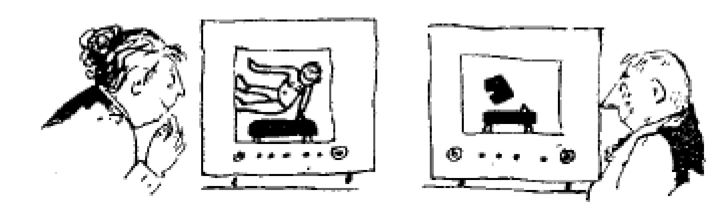
"...Un gimnasta actuaba en short negro en un fondo oscuro. En la pantalla el short desapareció. Entonces el fondo negro se cambio por uno claro. Se obtuvo un efecto todavía más estupefaciente: el short en la pantalla se vela nítidamente, pero... desapareció el propio gimnasta".

¿Y en que radica, propiamente, esta cuestión? ¿Por qué con el disco de Nipkov no se pueden obtener imágenes tales como las que nos dan hoy la pantalla moderna?



Lo malo es que el cuadro contiene solamente 30 líneas. Resulta desagradable mirarlo: en lugar de una imagen unida resulta una red de rayas separadas. Así y todo podríamos conformarnos si no fuera

porque... Si no fuera porque en pos del short no desapareciera el propio gimnasta. ¿Pero, por qué él desaparece? Peor o mejor, pero el objeto de todos modos debe verse en el cuadro, incluso cuando la cantidad de líneas es muy pequeña.

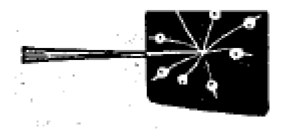


Y el hecho de que el objeto desaparece, significa que el fotoelemento no sintió la diferencia entre la luz dispersa del fondo y aquella luz, que refleja el objeto. Y esto es absolutamente natural: a través del minúsculo orificio en el disco pasaba sólo un insignificante rayo de luz, y los restantes rayos se reflejaban por el disco y se perdían inútilmente. Debido a tal derroche surgían todas las desgracias: y los labios verdes de los actores y el short que desaparecía en la pantalla.

Se determine, que el cuadro, obtenido con el disco de Nipkov, sería tan nítido como el cuadro de un televisor moderno, si la fuente de luz diera una iluminación cien veces más fuerte, que la luz de un rayo de sol directo.

¡Pero acaso es posible en la Tierra, crear semejantes fuentes de luz que sustituyan a 100 soles!

¿Y no se podría consumir la luz con mayor economía?



El ingeniero Zvorykin fue precisamente por este camino. Todavía en el año 1907 el profesor de la Universidad de Petersburgo Boris Lvovich Rozing propuso emplear en el receptor de televisión el tubo electrónico. Su discípulo Zvorykin desarrolló esta idea y elaboró un tubo transmisor capaz de "acumular la luz”.

¿Cómo lo logra hacer?

Resulta, muy sencillo. Hay que comparar el método de Nipkov con aquel método, que nosotros examinamos antes y todo quedará en su sitio. Ante la pantalla del tubo no hay orificios estrechos: toda la luz, reflejada por el objeto en dirección al tubo transmisor, cae sobre la pantalla. En esto radica la principal ventaja del tubo de transmisión moderno en comparación con el disco de Nipkov. Gracias a esta

diferencia el disco de Nipkov se convirtió en un atributo de la historia y el tubo electrónico en una parte integrante de todos los sistemas de televisión.

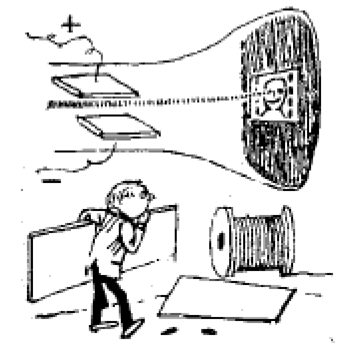
Se pueden emplear diferentes métodos de acumulación de la luz. La variación de la resistencia bajo la influencia de la luz, estudiada por nosotros en el Capítulo "Como se transpone la imagen”, se llama "efecto fotoeléctrico interno". Frecuentemente las pantallas de los tubos transmisores se cubren con un material que da un efecto fotoeléctrico exterior. Las diferencias entre uno y otro efecto están reflejadas en sus propias denominaciones. En el caso de efecto exterior, los electrones saltan fuera de la capa, como lo hacen las salpicaduras de la superficie del agua. Cuanto más fuerte sea la luz, tanto mayor será la salpicadura de electrones, que abandona la capa fotosensible. Cuando el haz electrónico, que corre línea tras línea, incide a un determinado punto de la pantalla del tubo de transmisión, él entregará a este último una parte de sus electrones. Cuantos más electrones se derramen de la capa fotosensible, bajo la acción de la luz, tanto mayor cantidad de ellos entregarán el haz electrónico. El haz se desliza por la imagen, pasando desde las zonas luminosas hasta las oscuras, y según ello varía la corriente del haz.

Aquí de nuevo se acumula luz. La luz cae sobre la pantalla durante todo el tiempo de transmisión y la regeneración de la capa sucede instantáneamente: la capa se regenera por el haz electrónico que se desliza por las líneas.

Las lentes pueden ser también magnéticas

§ 3.44

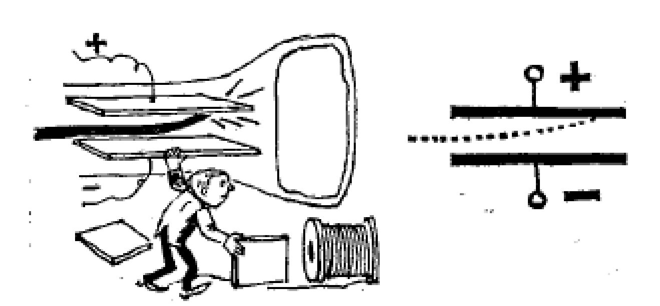
En los primeros tubos el haz era controlado por las placas. Pero cuando aparecieron los tubos de televisión de pantalla grande, las placas ya no podían cumplir esta tarea, ya que ellos podían desviar el haz solamente en un pequeño ángulo, y en este caso, claro está, era imposible explorar el cuadro en toda la pantalla.



En los tubos de pantallas grandes se trata de suministrar al ánodo alto voltaje, como resultado de lo cual los electrones alcanzan dentro de ellos grandes velocidades. Cerca de las placas ellos pasan instantáneamente, y sólo un fuerte campo puede desviarlos notablemente.

§ 3.45

Para salir de la situación, se trató de amplificar el campo entre las placas, acercándolas unas a las otras y aumentando su área.

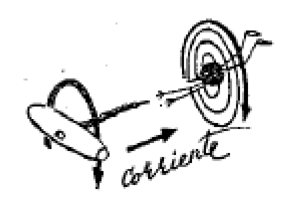


Se obtuvo un resultado paradójico: las placas pudieron desviar el haz en el ángulo necesario, pero con esto el haz comenzó a chocar contra una de las placas.

He aquí el que los creadores de los tubos de televisión tuvieron que recordar que los electrones pueden ser controlados no solo por los campos eléctricos, que surgen entre las placas, sino también mediante los campos magnéticos.

§ 3.46

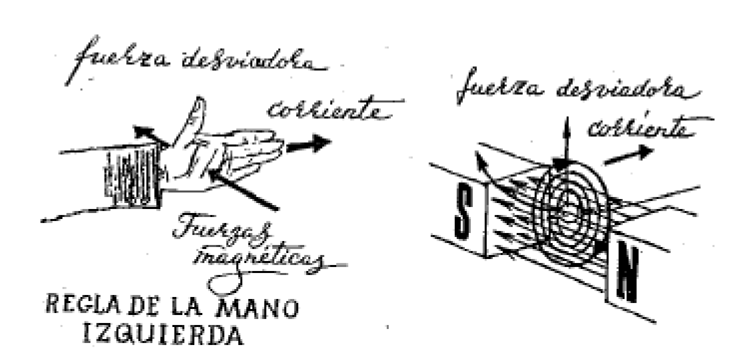
Sobre una carga en reposo, el campo magnético no actúa. Pero debido a que en el haz electrónico las cargas se encuentran en movimiento constante, alrededor de ellas (del mismo modo, que alrededor de los conductores con corriente) surgen halos peculiares, que son los campos de fuerzas magnéticas



La dirección de las fuerzas coincide con el sentido de giro de la barrenita, en caso de que esta barrenita se mueva en la misma dirección en que circula la corriente. (Aquí nuevamente se trata sobre la dirección técnica de la corriente (véase § II.14)).

§ 3.47

La coincidencia de la dirección de las fuerzas de los campos magnéticos lleva a la repulsión. La atracción surge cuando las fuerzas actúan unas al encuentro de las otras. (Véase el capítulo II "Hacia donde girará la aguja").



Por encima del electrón las fuerzas magnéticas están dirigidas unas al encuentro de las otras, mientras que por debajo de él la dirección de estas coincide. En presencia de esta interacción la carga se desplazara hacia arriba. El movimiento de la carga en el campo magnético está sometido a la regla de la mano izquierda.

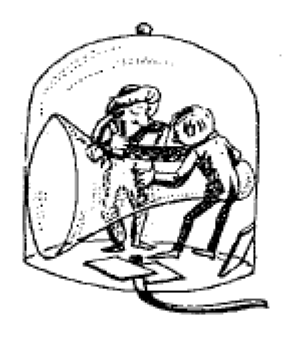
§ 3.48

Para la creación de campos, que desvían el haz, en lugar de imanes permanentes en los tubos de televisión, generalmente, se emplean bobinas. El par de bobinas, instaladas verticalmente cerca del cuello del tubo, desplaza al haz en el plano horizontal. Otro par, situado horizontalmente, desplaza al haz hacia arriba y hacia abajo.

Con la variación de la dirección de la corriente en los arrollamientos, los polos magnéticos se cambian de lugar, y si hasta este momento el haz se movía hacia arriba, ahora se desplazará hacia abajo, sometiéndose a la misma regla de la mano izquierda (véase § 3.47). Suministrando a la bobina una corriente de diente de sierra (la sierra rápida en las bobinas verticales y la lenta en las horizontales) se puede obligar al haz a explorar el cuadro (véase § 3.39).

§ 3.49

Colocar dentro del tubo las placas conductoras, sin afectar con esto el vacío se logra con gran esfuerzo. El proceso de producción de tales tubos se hace extraordinariamente complicado. Es considerablemente más sencillo confeccionar un tubo con sistema magnético, en el cual no es necesario colocar la bobina en su interior.



§ 3.50

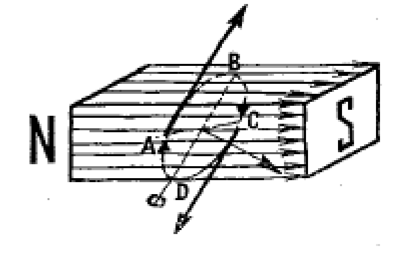
La bobina, ajustada al cuello, crea un campo magnético, dirigido a lo largo del eje del tubo. Tal bobina desempeña el papel de una lente: ella dirige a todos los electrones hacia un punto de la pantalla, es decir, enfoca el haz.

Ejercicios de acrobacia aérea

No es difícil concebir qué importante es para la televisión el problema del enfoque del haz. Cada uno de los electrones que forman el haz se esfuerza constantemente en repulsar de sí a sus "compañeros", los cuales vuelan en un mismo curso paralelo y tienen carga del mismo signo. Esta tendencia, en algún tiempo, causa muchas preocupaciones a los creadores de la televisión.

¿Recuerdan como lucharon contra este fenómeno los físicos, que emplearon los primeros tubos electrónicos? Ellos colocaron en el camino de los electrones un cilindro y suministraban a este un potencial negativo. Los electrones se repulsaban de las paredes y se agrupaban junto al eje, formando un haz fino (véase § I.19). Pero en cuanto salían del cilindro, de nuevo se dispersaban en todas direcciones. Cuanto más cerca se encuentran de la pantalla tanto a mayor distancia se repulsan uno del otro y tanto más ancho se hace el haz. Intentar dibujar con semejante haz "crinado" una imagen nítida en el cuadro es absolutamente inconcebible; es lo mismo, que intentar dibujar con una brocha gorda un retrato claro. Por lo tanto es necesario crear un sistema tal, que sea semejante a una lente óptica corriente y que enfoque el haz de modo que el loco se encuentre justamente en la pantalla.

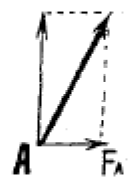
Esta tarea la resuelven las lentes magnéticas. Cuando por los arrollamientos de la bobina, ajustada en el cuello del tubo, circula corriente, esta crea un campo magnético, cuyas fuerzas están dirigidas a lo largo del eje del tubo.

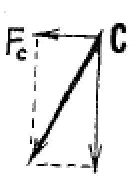


El electrón, que corre a lo largo de las líneas de fuerza del campo magnético, ignora el campo, ya que las fuerzas de su aureola son perpendiculares a la dirección de las

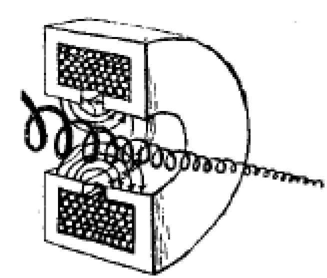
fuerzas magnéticas. ¿Pero que ocurrirá, si a él se le antoja desviarse de su curso y precipitarse, por ejemplo, hacia abajo?

En los puntos B y D las fuerzas se mantendrán perpendiculares entre sí, y en los puntos A y C la perpendicularidad se perturbará. Las líneas de fuerzas de la aureola se descompondrán en dos direcciones y actuarán no solo perpendicularmente, sino también a lo largo de las líneas de fuerza del imán. El electrón ahora no puede despreciar al campo: las fuerzas longitudinales de su aureola (F_a y F_c) actuarán recíprocamente con las fuerzas del campo externo. En el punto A surgirá una fuerza de repulsión, en el punto C una de atracción. La aureola girará hacia la izquierda (en dirección del movimiento del electrón),





el electrón cambiará de curso. Pero tan pronto como él gire hacia la izquierda, en los puntos B y D de la aureola también surgirá una interacción.



Repitan todos los razonamientos, y se convencerán de que las fuerzas que aquí surgen desviarán al electrón de abajo hacia arriba. Y si él se mueve simultáneamente desde abajo hacia arriba y de derecha a izquierda, no es difícil adivinar que su trayectoria representa un circulo.

Así, al desviarse de su curso, el electrón cae bajo una doble influencia. El ánodo del tubo electrónico, del mismo modo que antes, lo atrae hacia la pantalla, y el campo de la lente magnética lo obliga a describir un círculo. ¿Qué es lo que puede hacer él? Correr hacia la pantalla, pero no ya en línea recta, sino haciendo virajes, describiendo una espiral tras otra. El electrón “entra en barrena" como si fuera un avión de maniobra. La ruta aquí ha sido calculada con exactitud: las fuerzas magnéticas con cada espiral hacen girar al electrón aún con más fuerza, las propias espiras se hacen más pequeñas y, cuando el electrón alcanza la pantalla, se encuentra justamente en el eje.

¡Pero que el espinoso es el camino del electrón! Ni la más pequeña libertad de movimiento. Por todos lados el electrón está expuesto a la acción de las fuerzas. El ánodo lo obliga a moverse directamente hacia la pantalla. Los innumerables colegas que se desplazan a su lado tratan de repulsarlo del eje. Pero basta que se desvíe un poco de su curso, para que caiga bajo la influencia del campo magnético.

Y nuevamente sin la menor independencia; quiera o no quiera, esta obligado a "entrar en barrena" y trazar una espira tras otra.

Y precisamente tales peripecias son sufridas por cada uno de los electrones, y todos ellos, perseguidos por el campo, van a parar a un mismo punto de la pantalla, formando una pequeña mancha luminosa.

El haz corta los metales

§ 3.51

El haz electrónico enfocado no solamente es necesario para la televisión. Este resultó ser una maravillosa herramienta cortante en la elaboración de los metales.

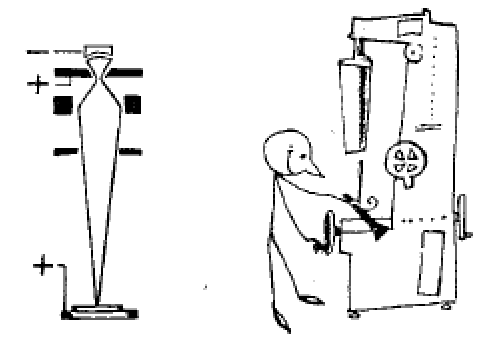


En los últimos años el electrón asimila cada vez más profesiones contiguas. Se debe señalar que en un breve tiempo el electrón dominó las especialidades de tornero, fresador, soldador y de fundidor.

§ 3.52

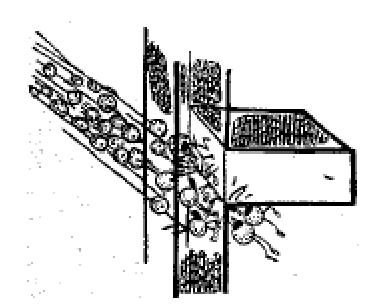
Dentro de una cámara de vacío se encuentra el cañón electrónico, conocido por nosotros, y el metal a elaborar. Para que el haz lo pueda cortar, la cantidad de electrones en él deberá ser aproximadamente 100 veces mayor que en el tubo

electrónico. Además de esto, él debe ser lo suficientemente agudo, para lo cual mediante el enfoque magnético se disminuye su diámetro hasta un unos micrones. ¡En este pequeño diámetro se ha concentrado una energía tal, que llevándola correspondientemente a la superficie de un centímetro cuadrado, es equivalente a la energía proyectada de las turbinas de la central hidroeléctrica de Krasnoyarsk! No es asombroso, que en el punto de contacto del haz con el metal surge una temperatura solar, aproximadamente de 6.000 grados. Con tal haz no resulta más difícil cortar cualquier metal, incluso los más refractarios, que con un cuchillo la mantequilla. Con un haz inmóvil en el metal se taladra (se quema) un orificio, y si se desplaza el haz con ayuda de un campo, él sustituirá con éxito a una fresa.



§ 3.53

De forma semejante se realiza la soldadura de los metales. La potencia del haz en la soldadura alcanza ya decenas de kilovatios. Al alcanzar el metal, los electrones frenan en él y toda su energía cinética se transforma en calor. Con esto, el haz crea a una profundidad de 0,001 a 0,1 milímetro una energía de cientos de veces mayor que cualquier fuente de calor. El empleo del haz electrónico transforma toda la tecnología de la soldadura, por ejemplo, es posible realizar una soldadura en varios pisos o directamente a través de una placa de metal realizar una costura en forma de T.



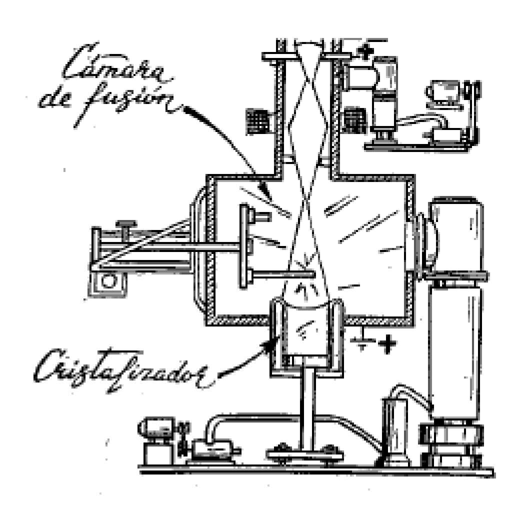
Controlando el haz, es posible realizar una soldadura perfilada con una precisión tal, que nunca sería lograda por un soldador con un aparato de soldar en sus manos.

§ 3.54

La fusión electrónica creó nuevas posibilidades. Ella permitió mediante la fusión completa y la cristalización, obtener sustancias altamente puras. La ingeniería

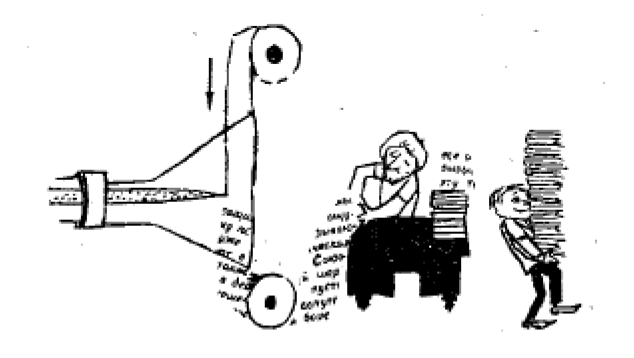
atómica y la cohetería necesitan tales sustancias y la propia electrónica no podía pasar sin ellas. Es conocido que en la técnica de los semiconductores se necesita el germanio con un contenido no mayor de una diezmillonésima parte de un gramo de impureza por kilogramo (una cienmillonésima parte por ciento). Esto se puede lograr con ayuda de aquellos mismos haces electrónicos. Solo hace falta que la potencia del haz alcance mil quinientos kilovatios. El metal, sometido a la fusión, se coloca en lugar del ánodo. Durante la fusión escurre hasta el cristalizador y las impurezas se evaporan y se depositan sobre las paredes de la cámara.

Este proceso se repite varias veces hasta que el metal alcance la pureza requerida.



§ 3.55

He aquí otro uso, completamente distinto, del haz electrónico un nuevo método de impresión de libros. La instalación es parecida a un televisor, pero en lugar de pantalla, hay una cinta de papel, sobre la cual el haz traza línea tras línea. El haz esta modulado por la figura del texto impreso. Después de él en el papel queda la carga eléctrica. La tinta tipográfica atomizada y el papel electrizado se encuentran dentro de la cámara; el papel atrae las partículas de tinta y el texto se



revela, como en una placa fotográfica. Tal aparato permite realizar 25 copias por segundo (la misma velocidad, tiene la televisión: 25 cuadros por segundo) o 1.500 páginas impresas por minuto, mientras que en un multicopista corriente, en el transcurso de un minuto se obtiene un total de 30 páginas.

¿Partícula u onda?

"El electrón es tan inagotable como el átomo" -dijo Vladimir Ilich Lenin a principios de nuestro siglo. Y todo el desarrollo ulterior de la física confirmó la sabiduría de las palabras de Lenin.

El descubrimiento del electrón fue solo la primera (superficial) identificación con esta partícula. Penetrar en el electrón, conocer como está constituido éste es la tarea inmediata, que aún queda por resolver.

Por ahora nosotros conocemos aquellos rasgos de su comportamiento, que pueden apreciarse, observando a este desde otro punto de vista. Y, aún así, no en todo se ve claridad.

En la mayoría de los fenómenos conocidos el electrón se comporta como una partícula cargada. Pero los físicos conocen casos en los que él se comporta de forma semejante a una onda.

Si los rayos luminosos, al reflejarse en un cristal, van a parar a la pantalla, entonces en ella se podrá ver el cuadro de interferencia de las ondas. Esto se explica sencillamente: las ondas reflejadas por cristales aislados, se adicionan unas a otras. Allí donde se une una cresta con cresta, las ondas se amplifican; allí, donde se encuentran una cresta con un valle surgirá una franja oscura. En vista que el cristal posee una estructura ordenada, en la pantalla aparece una clara alteración de franjas oscuras y luminosas.

Así sucede con las ondas. ¿Pero por qué tales franjas no se forman por los haces electrónicos reflejados por el cristal? ¿Esto significa, que el haz electrónico posee crestas y valles, y, por lo tanto, está también compuesto de ondas? ¿Qué es lo que representan entonces los electrones, partículas u ondas?

En el año 1924 la respuesta a esta pregunta fue dada por el físico Luis de Broglie. La respuesta fue inesperada: el electrón es, simultáneamente, partícula y onda. De Broglie propuso la celebre fórmula, por la cual es fácil calcular la longitud de onda del electrón, incluyendo en ella el valor de la masa del electrón y la velocidad de su movimiento.

Un electrón con "voluntad libre"

A los físicos ya les es habitual tal dualidad. En realidad, la luz, que representa en sí ondas electromagnéticas, consta de fotones, es decir, de partículas materiales. Esto es una propiedad, evidentemente, inherente a diversos tipos de materia. Los campos nucleares constan de mesones. Se sospecha, que la gravitación universal también posee doble esencia: por un lado los campos de gravitación, por otro lado una partícula desconocida llamada gravitón.

Pero no puede medirse todo con un mismo patrón.

A pesar de la semejanza de sus ecuaciones, la onda del electrón no es idéntica a la onda electromagnética. La onda del electrón es una onda de probabilidad, no es una onda física, sino matemática.

Las bandas negras en la pantalla corresponden a los valles de las ondas probabilísticas. La probabilidad de que el electrón caiga en esta zona, es muy pequeña. La cresta de la onda corresponde a la más alta probabilidad la mayoría de los electrones van a parar a aquellos puntos de la pantalla, donde se encuentran las crestas de las ondas probabilísticas. Parece ser lógico. Y al mismo tiempo...

¿Por que unos electrones van a dar a un punto con gran probabilidad y otros allá, donde la probabilidad es pequeña? En efecto, ellos se encuentran en iguales condiciones. ¿Por qué entonces en tal caso ellos se comportan de distinta manera?

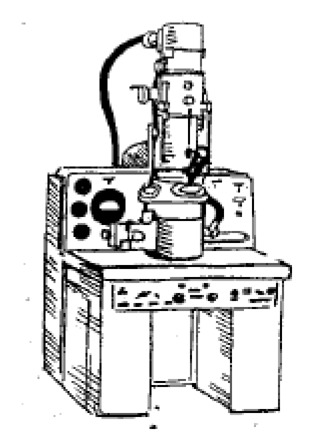
Algunos físicos explican este fenómeno aproximadamente así elelectrón escoge por sí mismo el camino. El electrón, por la lógica de los científicos, posee "voluntad libre": vuelo hacia donde se me antoja.

A semejantes ideas hay que responder de un modo crítico. Los diferentes comportamientos de los electrones es una manifestación de las leyes estadísticas a las cuales está sometido el movimiento de la inmensa masa de estas partículas.

Hay leyes de la naturaleza, que el hombre conoce y emplea. ¿Para qué hablar de la libertad de la voluntad del electrón? En efecto, toda la historia de la electrónica nos convence de que el electrón se somete a las leyes de la naturaleza; empleando estas leyes, es posible obligarlo a someterse a la voluntad de las personas.

¿Cómo ver a la molécula?

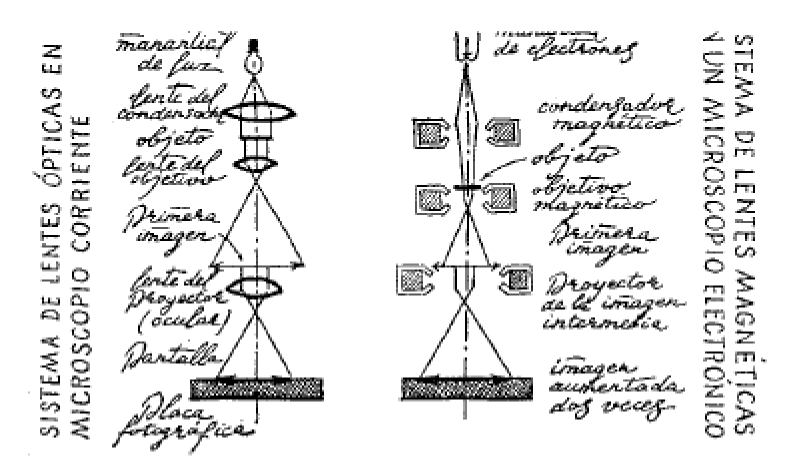
Si en la naturaleza existen ondas electrónicas, esto significa que es posible extraer algo útil de ellas. En comparación con las ondas de la luz ellas tienen una ventaja: son mucho más cortas que las ondas de la luz.



¿No han tenido la oportunidad de observar, como evade la ola marina las rocas de la orilla? A las rocas de pequeñas dimensiones, ella simplemente las pasa desapercibidas: sigue adelante sin dejar rastro. Ante las rocas grandes el cuadro es completamente distinto: la ola reflejada por un obstáculo, corre al encuentro de otra ola, que avanza a su encuentro, y al pie de la roca surge el vestigio de la interacción de las olas que llegan con las que se reflejan.

La onda luminosa se comporta del mismo modo. Ella no se refleja de los objetos, cuyas dimensiones son menores que su longitud. No se pueden distinguir dos objetos cuando la distancia entre ellos es menor que la longitud de la onda luminosa. Con esto se explica la limitación de las posibilidades de los microscopios ópticos: es que a través del sistema de lentes de aumento del microscopio pasa una onda luminosa.

El objeto más pequeño, que puede verse aquí, es conmensurable con la longitud de las ondas luminosas.



Esta longitud es de una diezmilésima parte de milímetro, o con más exactitud, de 0,4 micrón (color violeta) hasta 0,7 micrón (color rojo). Para que la imagen se haga visible, es necesario que las dimensiones de ésta sobrepasen la décima parte de un micrón. Solamente entonces puede ser ampliada hasta dimensiones perceptibles, digamos, hasta algunos milímetros, o sea, en algunos miles de veces.

Y esto es todo lo que puede dar un microscopio óptico.

Otra cosa es el microscopio electrónico. Aquí actúan ondas electrónicas que pueden ser 100.000 veces más cortas que las ondas de la luz. Basta solo comunicar a los electrones una velocidad determinada, y ellos, sometiéndose a la fórmula deducida por de Broglie, engendran ondas de la longitud deseada. Es cierto, que por esto hay que pagar un alto precio: para comunicar a los electrones la velocidad necesaria hay que suministrar al ánodo un voltaje de ¡cientos de miles de voltios!

Las lentes ópticas de un microscopio corriente se sustituyen exitosamente por las lentes magnéticas conocidas por nosotros.

Las ondas electrónicas pueden percibir un objeto 100.000 veces menor que el que percibe la onda luminosa. Pero, de todos modos, el microscopio no nos permite ver tales objetos, ya que las lentes magnéticas enfocan el haz peor que las ópticas. El aumento del microscopio electrónico es sólo siete veces mayor que el del microscopio óptico

"Nada mas..." Pero y esto no es poco. De todos modos, solamente gracias a la electrónica las personas han podido ver la molécula, observar la reproducción de los virus y estudiar la estructura de las proteínas. Y estos conocimientos permitieron a la biología, -la ciencia sobre la vida- dar otro gran paso adelante.

¿Qué irradia el cerebro?

En uno de los laboratorios de la Academia de Ciencias de la RSFSR (Republica Socialista Federativa Soviética de Rusia) baja la dirección de A. N. Sokolov se ocupaban de un nuevo problema interesante: la grabación y el desciframiento de las palabras sin haber sido pronunciadas. ¿Qué mostraron los experimentos?

Resulta que, en el transcurso de algunas décimas partes de segundo antes de que nosotros pronunciemos una palabra, a los órganos articulatorios llega, procedente del cerebro, una señal. Si a la lengua o a los labios de la persona que se somete a prueba se conectan electrodos especiales, se podrán captar estas señales, incluso en caso de que la palabra sea pronunciada mentalmente y no en voz alta.

¿Esto significa la lectura del pensamiento? En parte sí. Es cierto, que la escritura de estas señales, llamadas potenciales biológicos, no es fácil descifrar. Pero ya se ha conseguido obtener algo: se ha aprendido a leer algunos sonidos impronunciados, se ha establecido, que los potenciales biológicos están directamente relacionados con el proceso del pensamiento: Cuanto más difícil sea la pregunta, hecha a la persona puesta a prueba, tanto mayor será el potencial medido.

Es verdad que sin la electrónica no se hubiese podido dar ni un paso. Para registrar los potenciales biológicos, es necesario amplificar la señal débil extraordinariamente. El desciframiento de tales señales se realiza en la computadora electrónica (CE).

¿Y no se podrían captar esas mismas señales allí, donde ellas surgen? En efecto, ellas son enviadas por el cerebro, y la electrónica permite grabar las corrientes biológicas, originadas por el cerebro, en forma de encefalogramas. Para esto a diferentes partes de la cabeza se conectan electrodos que se rellenan con una pasta especial conductora de la corriente, la cual mejora el contacto. Las corrientes de cada electrodo pasa a su amplificador, y de la salida del amplificador la señal se envía a un aparato electromecánico registrador o a una pantalla especial. En la pantalla o en la cinta del registrador se pueden ver curvas complejas y multiformes, correspondientes a diferentes zonas de la corteza cerebral: de 30 puntos distintos, 30 curvas diferentes.

Pero si se tiene en cuenta que cada punto contiene en sí millones de células, por las cuales circula una multitud de impulsos diferentes, es posible imaginarse qué difícil es descifrar semejante señal. De la misma manera, al conectarse al cable telefónico maestro, que transmite de punta a cabo de la ciudad miles de conversaciones, usted no escuchará ni una sola palabra bien articulada en medio de las miles de palabras dichas simultáneamente.

No es de asombrar que hasta la actualidad sólo se hayan podido comprender las cosas más generales: que frecuencias contienen la señal que envía el cerebro, como distinguir mediante un encefalograma el régimen de insomnolencia del régimen de profundo sueño.

Y en lo concerniente al desciframiento de las palabras o de los pensamientos, puede decirse que aún falta mucho para esto.

¿Puede ser que existan otras vías de solución de este problema? En efecto se ha observado, que a veces tiene efecto la transmisión de información mental directamente de un cerebro a otro. Y es poco probable, que en el siglo de la electrónica alguien atribuya con seriedad estos fenómenos a fuerzas sobrenaturales: si con ayuda de la modulación es posible, en una señal portadora, transmitir cuadros de televisión, entonces ¿por qué no ha de ser posible de forma semejante transmitir una imagen visual que surja en algún cerebro? Pero si la telepatía es posible, entonces ¿por qué no se puede construir un receptor tal, que pueda captar las emisiones del cerebro no peor que un telépata?

¿Es posible, que en realidad pueda ser construido semejante receptor? Pero para esto es necesario ante todo conocer la naturaleza de las señales portadoras, en las cuales, durante la telepatía, "viaje" el pensamiento. La naturaleza de estas señales es totalmente especial. Por ejemplo, se ha establecido que la comunicación con ayuda de la telepatía es posible a cualquier distancia (se sobreentiende que en los limites del globo terráqueo), al mismo tiempo para ella no existen obstáculos. Entre el inductor (es decir, aquel que transmite la información mental) y el perceptor (aquel que la capta) se probó colocar diferentes pantalla, barreras infranqueables para los campos magnéticos y eléctricos. En la telepatía ellos no influían. Y esto desconcierta a los científicos: en verdad las ondas electromagnéticas de todas las frecuencias estudiadas no poseen semejantes propiedades. Esto significa, que la

información mental es emitida por el cerebro en alguna otra onda portadora. ¿Pero en cual? Esto por ahora no es conocido por nadie. Solo se pueden construir hipótesis y, después, en lo posible, comprobarlas. Así, por ejemplo, en la naturaleza existe una partícula, que posee tales maravillosas propiedades. Se habla del neutrino. El neutrino se mueve con la velocidad de la luz y posee una masa de reposo nula. En este aspecto el neutrino es muy parecido al fotón. Pero el neutrino tiene sus propiedades singulares. En particular, para esta partícula no existen obstáculos. El neutrino interactúa muy débilmente con otras partículas y por eso para él todos los obstáculos son transparentes, incluso toda la masa del globo terráqueo y una placa de hierro fundido con un grosor de mil millones de veces la distancia de la Tierra hasta el Sol.

¿Es posible que el neutrino sea precisamente el portador de la información mental? Pero ¿es posible transmitir la imagen “montada sobre las partículas"? Es posible. Pues las ondas radioeléctricas también en resumidas cuentas están compuestas de partículas. Einstein demostró que semejante onda esta compuesta por fotones. Entonces, ¿por qué no suponer que las partículas, semejantes a fotones, forman ondas neutrinas? Es verdad, que tales ondas no han sido observadas. ¿Y qué importa esto? Las ondas radioeléctricas también se pudieron captar mucho después que las descubriera Maxwell. ¿Y cuánto tiempo se dedicó a las ondas radioeléctricas, sin sospechar que ellas están compuestas por partículas?

¿Es posible, que con las ondas neutrinas resulte al contrario? Por ahora ha sido descubierta la partícula neutrino, pero después ¿podrá ser posible que se descubra un campo de ondas neutrinas?

Capítulo 4

Cuesta arriba por la escala de las frecuencias

Acerca de cómo la humanidad fue logrando, de año en año, poner a su servicio ondas cada vez más cortas y de lo que sufrió la electrónica en el proceso de adaptación de las frecuencias ultra elevadas.

Contenido

- *En el orden del día*
- *¡Habla el Universo!*
- *¡Aquí la Tierra! ¿Cómo me oyen?*
- *El segundo aliento de la Astronomía*
- *Sobre la cola de los meteoros*
- *Más allá del linde prohibido para la televisión*

Toda onda es necesaria

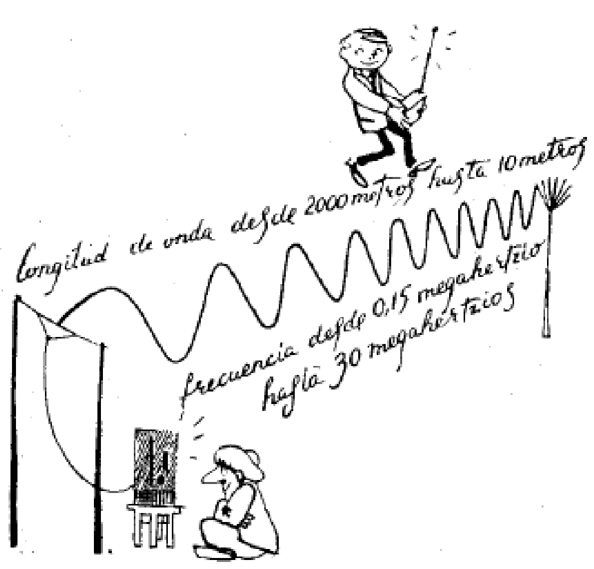
§ 4.1

La técnica moderna utiliza para diferentes fines ondas de distintas longitudes. Estas ondas se las suministra la electrónica. Se creó multitud de dispositivos electrónicos para la obtención de ondas con longitudes desde varios kilómetros hasta millonésimas de micrón.

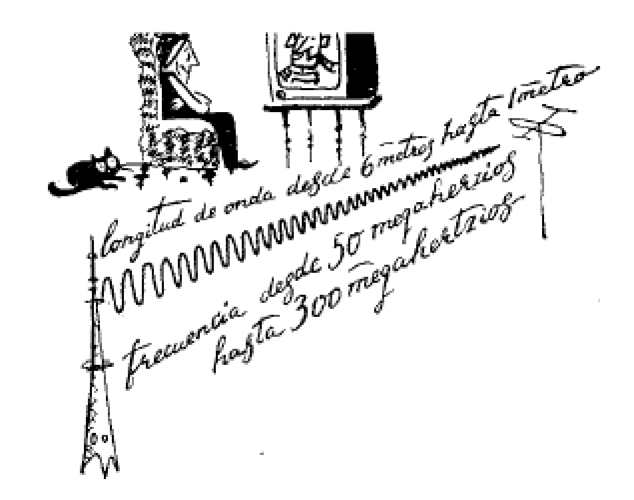
§ 4.2

La gama de ondas de 2 kilómetros a 10 metros la utiliza la radiocomunicación.

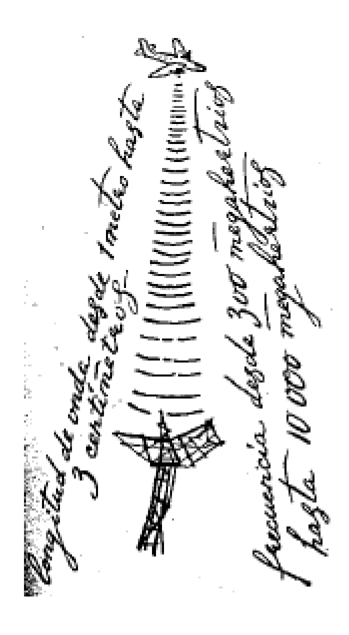
Valiéndose de la fórmula expuesta en la figura § III.15 es fácil hallar que a la onda de 2 kilómetros le corresponde la frecuencia de 0,15 megahertzios (ó 150 kilohertzios), mientras que a la onda de 10 metros le corresponde la frecuencia de 30 megahertzios.



§ 4.3



Al lado de la gama de radio ondas se encuentra la gama de la televisión. Esta utiliza las ondas desde 1 metro hasta 6 metros de longitud. A estas les corresponden las frecuencias de 300 a 50 megahertzios. Por consiguiente, la anchura de banda en la que se efectúan las transmisiones televisivas es de 300 - 50 = =250 megahertzios.



§ 4.4

Con la televisión linda la localización. Esta utiliza ondas desde varios metros de Longitud (a menudo, menores de un metro) hasta 3 centímetros (de 300 a 10.000 megahertzios). La anchura de la banda de frecuencias es igual a 10.000 - 300 = 9.700 megahertzios.

Esta banda es tan ancha que en ella existe sitio para todos. Hoy día, se utiliza ampliamente por la radiocomunicación. Para aumentar el alcance de la comunicación se utilizan retransmisores instalados, por ejemplo, en los satélites artificiales (Sputnik).

Las ondas centimétricas se obtienen por medio de dispositivos especiales, por ejemplo, con auxilio del magnetrón, el klistrón y el tubo de onda progresiva.

§ 4.5

En los últimos años a la numerosa familia de dispositivos electrónicos se añadieron nuevos miembros: dispositivos para la generación de ondas milimétricas y todavía más cortas (submilimétricas).

Se crearon los diocotrones, carcinotrones, harmodotrones, micratrones, resnatrones etc. etc. Todos ellos son dispositivos experimentales y aún se desconoce a cual de ellos, en el futuro, le tocará conquistar la misma popularidad, de la que gozan hoy día sus hermanos mayores: el magnetrón y el klistrón.

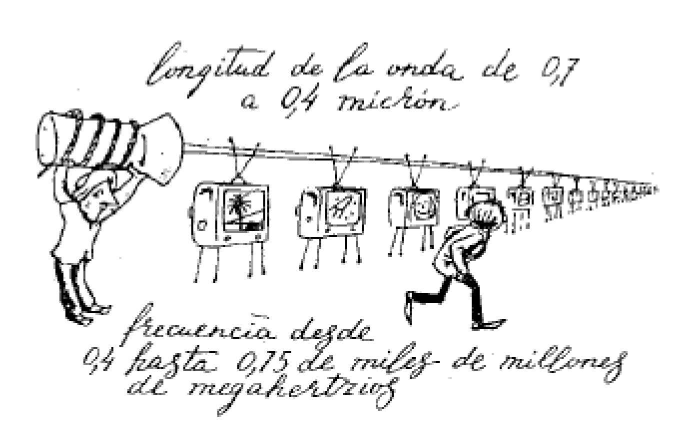


§ 4.6

La gama de las frecuencias útiles para la comunicación y localización se amplió extraordinariamente con la aparición de los osciladores cuánticos (láseres).

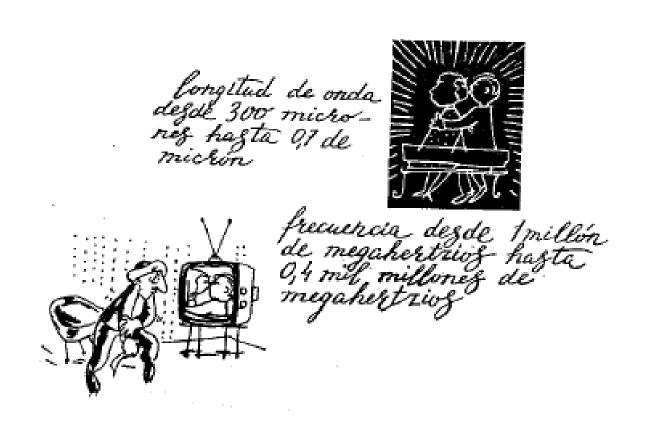
Los láseres ensancharon la gama hasta las ondas de 0,4 de micrón, es decir, hasta frecuencias de $0,75 \times 10^9$ megahertzios. Esta gama coincide con la gama de rayos visibles de la luz (0,4 a 0,7), de micrón, o sea $(0,75 \text{ a } 0,4) \times 10^9$ megahertzios. Esta es más ancha que la banda de las frecuencias, comprendidas en un cuadro de televisión en 30 millones de veces. Esto significa que valiéndose de las irradiaciones

de los láseres en calidad de portadoras de señales, se pueden transmitir, simultáneamente, 30 millones de programas de televisión.



§ 4. 7

Subiendo por la escala de las frecuencias hemos "pasado por encima" de un escalón, o sea, hemos omitido la zona de frecuencias situadas debajo de la gama luminosa: se trata de los así llamados rayos infrarrojos.



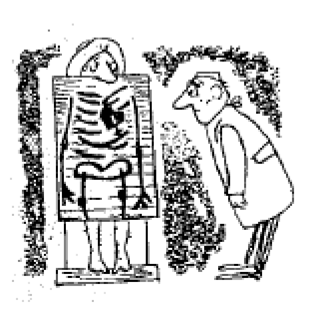
"Infra" significa "más abajo". La frecuencia de las ondas infrarrojas es inferior a las frecuencias de los rayos de luz roja visible. Los rayos infrarrojos son invisibles a simple vista. Ellos ocupan una banda entre las ondas milimétricas y las luminosas, aproximadamente desde 0,4 X 10^9 megahertzios hasta 1 millón de megahertzios (longitud de ondas de 0,7 de micrón a 0,3 de milímetro).

Para la localización, estas ondas resultaron muy cómodas. Para su obtención no se requieren generadores especiales, ya que todos los cuerpos son, por excelencia, las "estaciones transmisoras" que irradian al espacio rayos térmicos infrarrojos. Unos objetos irradian el calor recibido del Sol, otros su propio calor (el calor de la sangre, el calor del motor, etc.).

El localizador necesita solamente un receptor sensible, entonces él detectará la presencia de estos cuerpos incluso en oscuridad completa.

§ 4. 8

El aparato de rayos X, conocido por todos, utiliza ondas 10 mil veces más cortas que las de la gama luminosa (hasta décimas de micrón).



El récord de las ondas cortas utilizadas en la microscopía electrónica pertenece a las ondas de millonésimas partes de micrón.

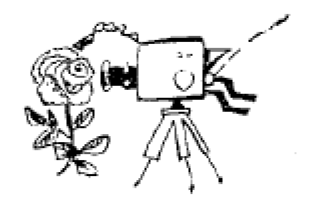
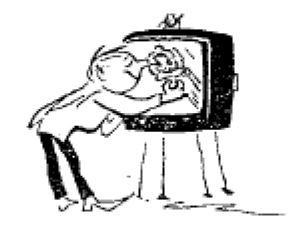
§ 4. 9

Las ondas más cortas y más largas de todas las conocidas son las que nos suministra el cosmos. Entre las ondas que llegan del cosmos se ha logrado detectar ondas de 30 millones de kilómetros. Un periodo de oscilaciones de semejantes ondas dura 100 segundos. ¡Entre el Sol y la Tierra cabrían solamente cinco ondas como estas!

Al mismo tiempo, los rayos cósmicos contienen oscilaciones con una longitud de onda igual a 0,005 ángstrom (décimas de millonésimas de micrón).

§ 4. 10

Para completar el cuadro, vale recordar que, según los últimos datos de la ciencia, las ondas de 8 a 14 micrones representan las "ondas olorosas". Es posible que en el futuro la electrónica, al asimilar estas ondas, pueda transportar los olores igual que hoy transporta las imágenes y los sonidos.

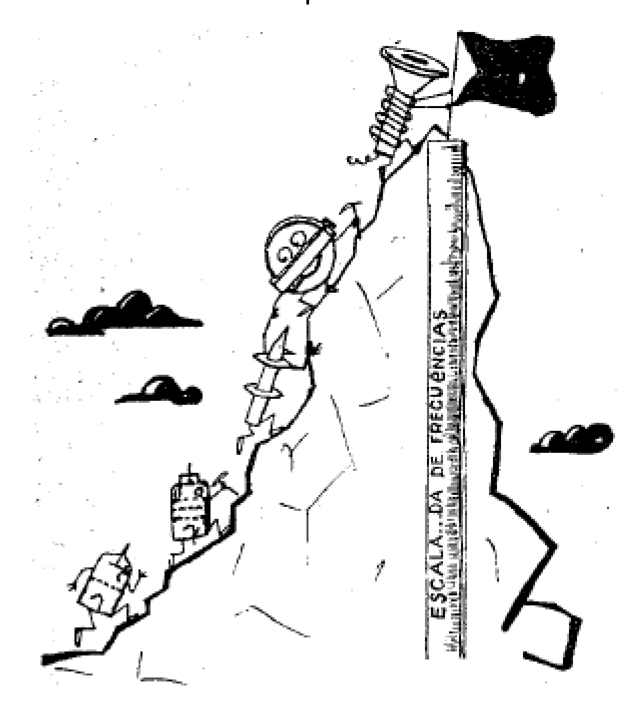
Desde un kilómetro hasta fracciones de un micrón

Es mucho lo que se puede narrar acerca de la historia de la electrónica. Pero su esencia fundamental puede ser expresada en breve: la historia de la electrónica es la historia de la reducción de la longitud de las ondas.

Recordemos las etapas del desarrollo de la radiocomunicación. Primero fueron dominadas las ondas largas (debemos señalar que las radio ondas obtenidas por primera vez por E. Hertz tenían una longitud de varias decenas de centímetros. Pero estas ondas no eran producidas por dispositivos electrónicos, sino por medio de un descargador de chispas, y al principio no encontraron aplicación en la radiocomunicación). Más tarde, los investigadores descubrieron que las ondas cortas tienen la facultad de rebotar del cielo y de la Tierra y que, de esta manera, pueden ser transmitidas alrededor de todo el globo terráqueo. Se ocuparon de las ondas cortas. En el curso de unos años se logró reducir la longitud de las ondas en casi diez veces, aumentando otras tantas la frecuencia. Mientras tanto surgió la televisión. Esta necesitaba ondas ultracortas (OUC). De nuevo fue necesario aumentar diez veces la frecuencia. Aquí aparecieron las primeras complicaciones: al pasar a las OUC comenzó a "fatigarse" el tríodo. Hubo que introducir en el tubo rejillas adicionales: aparecieron los tetrodos y pentodos.

Pero estas dificultades no eran nada para las que habían de venir. Cuando la localización exigió de la electrónica ondas con longitudes menores de 3 centímetros hubo que reelaborar todos los aparatos. Aquí los tubos de estructura ordinaria ya no podían funcionar, como no servían tampoco los radio-circuitos LC anteriores. Y la familia de dispositivos electrónicos se enriqueció con nuevos miembros. Aparecieron tubos en los que en lugar de los balones de vidrio, vemos una configuración complicada con una combinación de cerámica y metal. En el lenguaje de los especialistas surgieron nombres tales como: válvula de faro y otros aún más extraños: klistrón, magnetrón, tubo de onda progresiva.

Este es el destino de la electrónica: sin paz ni tregua ella ha de encaramarse incansablemente por la escala de las frecuencias. Encaramarse, he aquí quizás la palabra que mayor refleja las dificultades que surgieron ante la electrónica durante su movimiento hacia la zona de las frecuencias ultra elevadas. En cada etapa surgían sus problemas y, exclusivamente, gracias a la tenacidad y a la capacidad inventiva de los especialistas de todo el mundo se explica el hecho de que, de años



en año, a pesar de todos los obstáculos fue creciendo sin soslayo la frecuencia de las irradiaciones con las que la electrónica suministraba a las ramas contiguas para satisfacer las distintas necesidades de la técnica.

Esta tradición está viva hoy día. Hoy somos testigos de un paso enorme dado en el campo de las altas frecuencias.

Valiéndose, en vez del radio circuito, de la radiación de los átomos y moléculas, aquella rama de la técnica que fue denominada por nosotros en broma, al comienzo del libro, fotónica, esta dominando con éxito las ondas de una longitud de hasta décimas de micrón. Estos son los índices evidentes de los logros alcanzados por la electrónica.

En medio siglo esta pudo “contraer” las ondas en varios miles de millones de veces y, empezando con longitudes, medidas por kilómetros, llega a ondas con una longitud de fracciones de micrón.

¿Cuánto pesan las ondas cortas?

Bien, exclamará el lector, es posible que aumentar las frecuencias y acortar las ondas, efectivamente, haya sido una cuestión no fácil, ¿pero hubo acaso la necesidad de plantearse tales tareas y después hacer tales esfuerzos por la solución de ellas? ¡Pues la radio se las arreglaba sin las ondas cortas!

Sí, se las arreglaba, más, el alcance de la radiocomunicación era limitado. Y la televisión, ni para distancias cortas siquiera, podía pasar sin las ondas ultracortas. Para la transmisión de un gran número de programas televisivos se necesitaban ondas todavía más cortas. ¿Por qué? Veamos el porqué. Las señales televisivas ocupan una banda de frecuencias ancha: desde unos cuantos hertzios hasta 6 megahertzios (véase § 3.41 y § 3.42). Cuando, por medio de la modulación, esta señal se sobrepone en la señal portadora, la banda se hace dos veces más ancha, resultando igual a 12 megahertzios.

Por lo tanto, si surge la necesidad de televisar simultáneamente distintos programas, habrá que separar para cada programa un canal con una banda de no menos de 12 megahertzios.

La gama de OUC, en la cual opera la televisión, ocupa las frecuencias de 50 a 300 megahertzios. ¿Cuántos programas se pueden transmitir en esta gama simultáneamente?

El cálculo es sencillo. El número de programas es igual al número de canales N, y

$$N = (300 - 50)/12 = 20 \text{ programas.}$$

Al parecer es suficiente, si los telecentros operan con 2 ó 3 programas. Pero, en general es poco. Si nos propusiéramos de crear, por ejemplo, en la ciudad, una red de video-teléfonos, ¡toda la gama de OUC sería ocupada tan sólo por 20 puntos de video!

¿Y cuantos canales de esta clase se podrían obtener en la gama centimétrica?

Hagamos la cuenta. A las ondas de 3 a 10 centímetros de longitud les corresponde la gama de frecuencias de 10.000 a 3.000 megahertzios. Convencerse de esto no es difícil: la longitud de la onda se recuenta en frecuencias haciendo uso de la fórmula expuesta en la figura § 3.15.

El número de telecanales N se calcula de la misma manera:

$$N = (10.000 - 3.000) / 12 = 580.$$

Esto ya es considerablemente mejor, 580 video-teléfonos esto es ya alguna videocomunicación.

¿Y si el número de puntos en la ciudad llegara a alcanzar decenas y cientos de miles? ¿Cómo entonces obraríamos con la video-comunicación?

Las oscilaciones con frecuencia inferiores a 50 megahertzios no pueden servir de señal portadora: deformarían la imagen. Y en toda la gama de frecuencias de 50 a 10.000 megahertzios (ondas de 6 metros a 3 centímetros de longitud) cabrán solo:

$$N = (10.000 – 50) / 12 = 830 \text{ programas.}$$

¿Dónde encontrar decenas y cientos de miles de canales para crear en la ciudad una videocomunicación general? Queda una posibilidad, acortar las ondas y luego aumentar sus frecuencias.

Pero aquí surge una dificultad bastante esencial: cuando las longitudes de las ondas se contraen hasta fracciones de milímetro los dispositivos electrónicos se “fatigan" semejantemente a como ya en la primera etapa de reducción comenzará a “fatigarse" el tríodo.

¿Cómo obrar? ¿Abandonar, para siempre la idea del videoteléfono? ¡No, al revés! Pues, además de la electrónica, ya existe la fotónica y la solución de este problema está en su poder.

Adelantándonos, diremos que los generadores de fotones (láseres) generan ondas luminosas con una longitud de 0,4 a 0,7 de micrón (frecuencias de 4 10^{14} a 7,5 x 10^{14} oscilaciones por segundo, o sea, de 0,4 x 10^9 a 0,75 x 10^9 megahertzios).

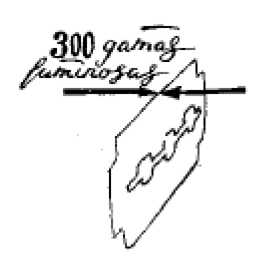
¿Cuantos programas de televisión cabrán en esta gama? Este cálculo ya sabemos cómo se realiza:

$$N = (0,75-0,4) \times 10^9 / 12 = \text{¡30 millones de programas!}$$

¡Un número exuberante! Pero nuestro ascenso por la escala de frecuencias ha sido tan impetuoso, que el lector apenas habrá asimilado todo aquello que se presentó a su vista cuando alcanzamos la cima de la gama óptica de frecuencias.

Ahora se puede, quizá, hacer un corto receso y meditar sobre aquello con que nos fuimos encontrando en el camino.

Todas las ondas luminosas con una longitud entre 0,4 y 0,7 de micrón, cabían en un fragmento microscópico de la regla. El largo del fragmento es solamente de 3 diezmilésimas de milímetro. En el filo de una hoja de afeitar cabrán casi 300 fragmentos semejantes. ¡Y con cada fragmento entran 30 millones de programas televisivos!



Al mismo tiempo, en toda la gama de radio ondas con longitud de 1 a 2000 metros (¡dos kilómetros!) apenas caben unos 20 teleprogramas. A primera vista esto parece una paradoja.

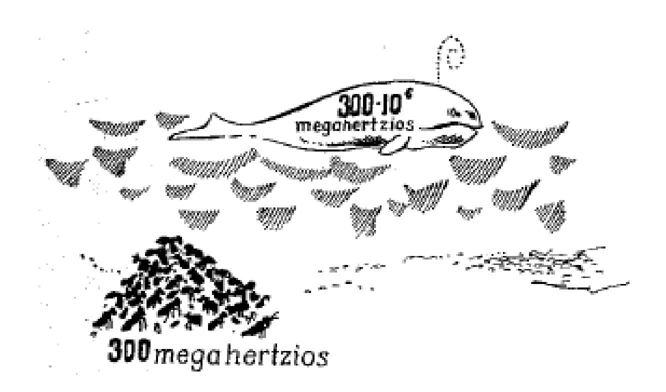
He aquí el segmento microscópico de la regla con una dimensión de 0,3 de micrón. En él se colocaron todas las ondas luminosas. Y he aquí el largo camino que comenzó a 1 metro del umbral de su casa y terreno en la otra calle a dos paradas del trolebús. En este camino se disponen las longitudes de todas las radioondas utilizables.

¿Entonces, por qué en el fragmento ínfimo entra un millón de veces más información que en el camino de 2 kilómetros de largo?

La explicación de esto es sencilla. Cuando se estiman los espectros de las señales y la banda de los canales por los cuales se transmite en las señales, se usa no la escala de longitudes de ondas sino la escala de frecuencias.

Valiéndose de la ecuación § 3.16 es fácil convencerse de a la onda más larga de la gama de radio-ondas (=2000 metros) les corresponde la frecuencias de 0,15 de megahertzios, o 150 kilohertzios.

A la onda más larga de la gama de ondas luminosas (λ = 0,7 de micrón) le corresponde la frecuencia de 0,45 X 10^9 megahertzios (0,45 mil millones de megahertzios).



Esta frecuencia es 3 x 10^9 veces mayor que la frecuencia de señal con una longitud de onda de 2000 metros.

Aproximadamente, una hormiga (que pesa cerca de 3 miligramos, o sea 3 milésimas de gramo), es tantas veces más ligera que un cachalote mediano (que pesa cerca de 10 toneladas).

Pero aquí se debe aclarar una vez más una circunstancia. Puede ser que a muchos les parecerá raro que el "cachalote" resultó ser no las ondas, cuya longitud se mide por kilómetros, sino las ondas con longitud de fracciones de micrón. Nosotros comparamos el cachalote y la hormiga no por su tamaño, sino solamente por el peso. Y "el peso” de las radio-ondas aumenta con el incremento de sus frecuencias.

La frecuencia luminosa superior es aproximadamente dos veces más alta que la inferior, e igual a 0,75 x 10^9 megahertzios. La gama de ondas luminosas, es decir, el intervalo de la escala entre las frecuencias superior e inferior será:

$$0,75 \times 10^9 - 0,4 \times 10^9 = 0,3 \times 10^9 \text{ megahertzios} = 300 \times 10^6 \text{ megahertzios.}$$

Pero en la gama de radiocomunicación la frecuencia superior es más alta que la inferior, no dos veces, sino 2000. Y a pesar de esto, la gama de frecuencias es considerablemente más estrecha. Ella es nada más que de 300 - 0,15 = 298,85 megahertzios, es decir aproximadamente 300 megahertzios. Y no haya aquí nada que pueda asombrar. Dos cachalotes pesan 10 toneladas más, que uno solo. Y 2000 hormigas pesa más que una hormiga, isolamente 3 X 10-3 x 2000 - 3 x 10-3 = 5,99 gramos!

Así ocurre con las radio-ondas. Comparando la anchura de la gama de radiocomunicación (300 megahertzios) con la anchura de la gama luminosa (300 X 10^6 megahertzios) nos convencemos una vez más que la gama de radiocomunicación "pesa" un millón (10^6) de veces menos que la gama luminosa.

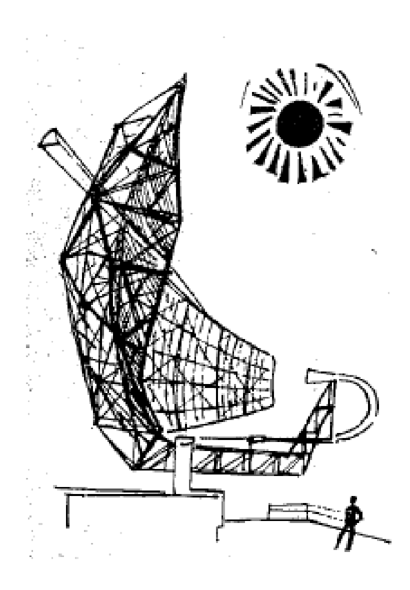
El problema de los haces estrechos

Ahora sí está claro por que la electrónica aspiraba, a toda costa, a contraer las ondas. Exclusivamente en las ondas más cortas se abre la comunicación y transmisión de cualquier información el campo más extenso.

La gama de ondas cortas, medias y largas, ya hace tiempo se hizo estrecha para la radiocomunicación. Ahora a la televisión también se le hace estrecho en la OUC. Por eso la radiocomunicación, en el último tiempo, pone intensamente a su servicio las ondas centimétricas, y la televisión, por lo visto, pasará con el tiempo a la gama luminosa. Aquí ella se encontrará considerablemente más delgada. Solamente el color rojo tiene tantos "matices" que todos los habitantes de una ciudad podrán, sin molestarse uno al otro, intercambiar sus imágenes por videoteléfonos, valiéndose exclusivamente de los rayos rojos.

"La estrechez", es un factor muy esencial, que fuerza a la electrónica a contraer las ondas. Pero existe también otro motivo, y no menos importante. Para la solución de una serie de problemas es necesaria la directividad de las irradiaciones: las ondas deben ser emitidas por la antena no en todos los sentidos, sino en una sola dirección en forma de haz estrecho.

Con especial vigorosidad este problema fue planteado por la localización. Por el haz se puede determinar la posición exacta del objeto reflector. El gallito de oro del conocido cuento de A. S. Pushkin viraba la cabeza hacia el lado por donde venían las tropas extranjeras. La estación radiolocalizadora señala la dirección hacia el objeto enemigo mediante el giro de sus antenas. La dirección será indicada exactamente si la antena de la estación irradia las ondas en un haz estrecho, mas, crear éste haz es posible solamente en el caso, cuando las dimensiones de la antena sean considerablemente superiores a la longitud de las ondas emitidas.



Las primeras estaciones de radiolocalización (esto ocurría principios de los años 40) concentraban en un haz las ondas métricas con ayuda de enormes antenas.

El haz palpaba en el cielo el avión del adversario e indicaba adónde dirigir el proyectil. No podían los pilotos aceptar esta situación por mucho tiempo. Era necesario, cuanto antes, equipar con localizadores la aviación. Únicamente que, ¿cómo hacerlo? ¡No se iba a montar sobre el avión una antena con las dimensiones de una casa de dos pisos! No obstante, se puede reducir, en muchas veces, la antena y al mismo tiempo no violar la condición de la irradiación direccional, conforme a la cual las dimensiones de la antena deben ser mucho mayores que la longitud de las ondas irradiadas. Este problema hay que resolverlo a la inversa: en lugar de aumentar las dimensiones de la antena, disminuir la longitud de las ondas.

Cuando la longitud de las ondas se redujo a cm se hizo posible la creación de antenas efectivas y compactas para los aviones.

A que precio se consiguieron las ondas centimétricas, hablaremos un poco más adelante. Ahora volvamos a aquella etapa de la historia de la electrónica, cuando el desarrollo de la televisión y de la radiocomunicación de largo alcance, requirieron de la electrónica el dominio de las ondas cortas y ultracortas.

Las rejillas comenzaron a reproducirse

En la primera etapa del desarrollo de la radiocomunicación el tríodo sacó de apuro a la electrónica en todas las ocasiones de la vida: él ayudó a engendrar corrientes y

tensiones alternas las cuales se transformaban fácilmente en ondas; a amplificar, modular, detectar, transferir las señales a frecuencias intermedias, en general, a realizar todas aquellas operaciones sin las cuales es imposible mantener la radiocomunicación; pero, cuando la realidad exigía el dominio de las ondas ultracortas se reveló la insuficiencia de los triodos, indistinguible para frecuencias más bajas. La cuestión consiste en que los electrodos del tríodo (ánodo, cátodo, rejilla) –representan armaduras entre las que existen determinadas capacidades: C_{AR}; C_{RC}; C_{AC}.

Ustedes recuerdan: la señal pasará a través de la capacidad con más facilidad, cuanto más alta sea la frecuencia (véase § 3.25). Con el paso a las ondas cortas y ultracortas las frecuencias se hicieron muy altas. Por eso la capacidad entra el ánodo y la rejilla, que no tiene importancia alguna cuando el tubo funciona con frecuencias bajas, se convertía en un puentecito de fácil accesibilidad para las frecuencias altas. Por este puentecito una parte de la energía se transmite del ánodo a la rejilla del tríodo. En el generador a tríodo este puentecito se construía intencionalmente: con su ayuda se lograba la reacción (Véase el Capítulo III "Por que fluyen los ríos") necesaria para la generación de oscilaciones.

Pero si el tríodo tiene que funcionar como amplificador, este puentecito causa solamente daño. En que grado esta unión es indeseable, se puede juzgar por el apodo que los especialistas le dieron, la llamaron unión parásita. Por culpa de ella, en las frecuencias altas, los amplificadores al período originan frecuencias propias, en lugar de amplificar la señal recibida.

¿Cómo podríamos destruir este "puentecito" e interrumpir la unión parásita?

Se puede reducir la capacidad entre el ánodo y la rejilla, disminuyendo las dimensiones de estos o alejándolos uno del otro (véase § 3.21). Pero tanto lo uno como lo otro empeora las características eléctricas del tubo.

Los constructores encontraron otra salida de la situación. Ellos introdujeron en el tubo una rejilla más y le aplicaron un potencial positivo. En torno a la segunda rejilla se originó un campo, el cual empezó a oponerse a la corriente fluyente por la unión parásita.

De este modo aparecieron los tetrodos: tubos con cuatro electrodos ("tetra", voz griega que significa: cuatro). Ellos permitieron la construcción de amplificadores,

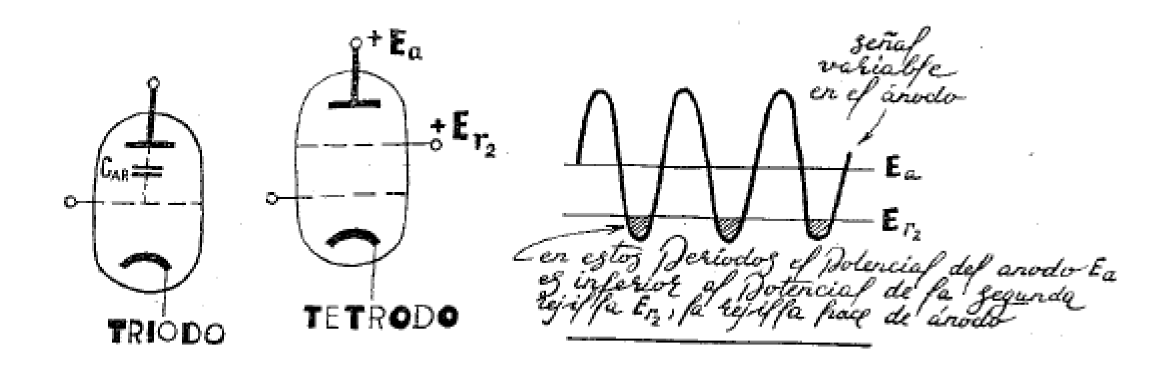
designados para la amplificación de señales con frecuencias hasta de decenas de megahertzios, sin temor, a que semejante amplificador, un buen día, empezara a auto excitarse, es decir, a generar una señal propia parásita. Al parecer, los diseñadores de tubos habían logrado superar el primer obstáculo que surgió al pasar a las ondas ultracortas.

¡Si así fuera! Cuando comenzaron a trabajar con los tetrodos, se detectó un nuevo percance: el efecto dinatrón.

Tres en lugar de una

El efecto dinatrón surge de la manera siguiente. Por cuanto el ánodo esta hecho con metal, en él existe "fluido electrónico": los electrones libres que se desplazan entre los átomos del retículo. (Véase § 2.10). Bajo los impactos de los electrones, que llegan del cátodo, algunos de los electrones libres "se derraman" del ánodo al exterior. Se origina el proceso de emisión secundaria (la emisión primaria la posee el cátodo).

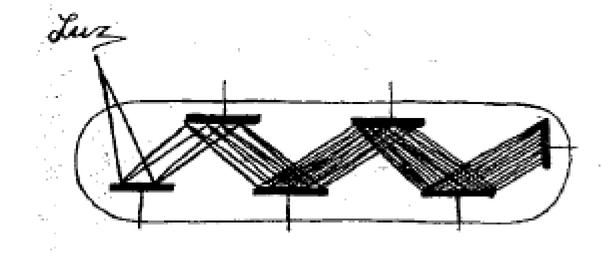
La segunda rejilla del tetrodo posee también un potencial positivo, por lo tanto una parte de los electrones, despedidos del ánodo, se dirigen a ella. Este flujo es sobre todo intenso en aquellos momentos cuando en el ánodo actúa la semionda negativa de corriente alterna. En estos momentos, el potencial de la segunda rejilla resulta más alto que el potencial del ánodo y el tubo, como consecuencia de esto, parece que funciona patas arriba: la segunda rejilla comienza a atraer los electrones como lo hiciera el ánodo, mientras que el propio ánodo desempeña el papel dedicar todo y radiante a costa de la emisión secundaria de un flujo indeseable de electrones. Este flujo depende del voltaje anódico, varía con la frecuencia de la corriente anódica y deforma la señal a amplificar. ¿Por qué este efecto se reveló exclusivamente en los tetrodos? ¿Acaso en los triodos los electrones no chocaban con la superficie del ánodo? ¿Acaso allí no existía la emisión secundaria?



Todo esto lo había. Pero en el tríodo los electrones de la emisión secundaria no molestaban a nadie y por eso nadie los notaba. En efecto, “se derramó" el electrón del ánodo, pero no tiene a donde ir, ya que además del ánodo, en el tríodo no existen otros electrones con potencial es positivo y no hay nadie que lo atraiga. Bajo la acción del campo del ánodo el electrón se ve obligado a caer de nuevo sobre el ánodo. He aquí por qué antes de introducir en el tubo la segunda rejilla, el efecto de la emisión secundaria a nadie, en esencia, le preocupa. Pero en el tetrodo sise o se convirtió en un problema, en un obstáculo que había que eliminar de inmediato.

A eliminar a este ayudo la tercera rejilla (antidinatrón), que obstaculizó a los electrones de la emisión secundaria el camino del ánodo a la rejilla con potencial positivo, lo cual dio vida al tubo pentaelectródico: pentodo.

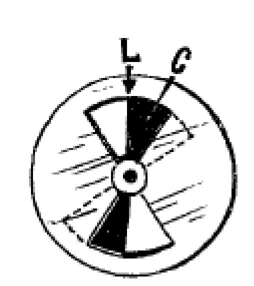
El pentodo ayudó a la radiocomunicación a amplificar las ondas cortas. En particular, con su ayuda se puede amplificar la señal en la que viene grabado el cuadro televisivo. Y todo es porque mediante la tercera rejilla se logró liquidar el efecto nocivo dinatrón originado por la emisión secundaria.



Anotemos de paso, que fueron creados también por la electrónica dispositivos en los cuales, a cuenta de la emisión secundaria, producen un efecto muy provechoso.

El flujo de electrones, originado bajo la acción de la luz como consecuencia del efecto fotoeléctrico, por lo general, es muy sutil. Sin embargo, dirigiendo este flujo

hacia otro electrodo especial, se puede obtener por efecto de la emisión secundaria un flujo de más intensidad. Posteriormente los electrones de la emisión secundaria se dirigen a un tercer electrodo, que bajo la acción del "bombardeo" de nuevo emite electrones de emisión secundaria. Estos son dirigidos a un cuarto electrodo y así sucesivamente. Se produce una "avalancha" y en cada etapa esta se hace más potente. Resulta que unas cuantas "piedrecillas" (electrones), expulsadas por la luz del primer electrodo, gracias a la emisión secundaria de varios ánodos situados en el camino, originaron un verdadero "alud".



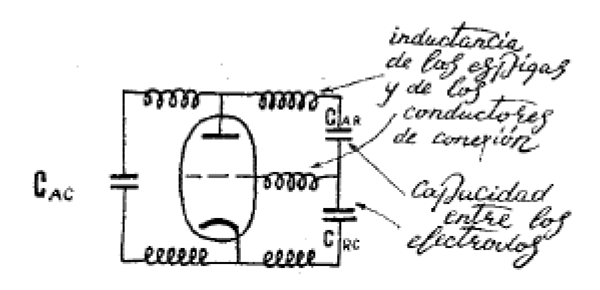
Así funcionan los multiplicadores fotoelectrónicos, que permiten transformar una corriente pequeña, provocada por el efecto fotoeléctrico, en una potente señal.

Las causas de la segunda crisis

Los males del desarrollo son un fenómeno inevitable. Cualquier campo de la ciencia y de la técnica en el proceso de desarrollo, sufre una serie de crisis, durante las cuales es necesario revisar fundamentalmente los métodos e ideas anteriores.

El resultado de la primera crisis, sufrida por la electrónica fue la aparición de tubos multirejillas.

La segunda crisis apareció en el momento en que la localización promovió la tarea del dominio de las ondas acción.



¿En que consiste la causa de esta crisis?

Recordemos el sencillo circuito oscilante LC. Su frecuencia propia será tanto menor, cuanto mayor sea la magnitud de la capacidad C y de la inductancia L (véase § 3.7). Pero en el esquema del generador a tríodo, donde está conectado nuestro circuito oscilante, además de la capacidad del circuito, existen los ya conocidos por

nosotros, "parásitos": las capacidades C_{AC}; C_{RC}; C_{AR}. Y si la influencia de los "parásitos" repercutía incluso en las ondas ultracortas (métricas), ¡qué decir de las ondas que se hicieron 100 veces más cortas! Aquí se hace "parásita" cualquier pieza, no solamente del esquema electrónico, sino del propio tubo. El cortito fragmento de cable comienza a funcionar como una antena porque su longitud resulta conmensurable con la longitud de las ondas centimétricas. La espiga del tubo (pata) a través de la cual se suministra el voltaje a los electrodos, también se hace un "parásito": este posee una conductividad, bastante sensible para tan altas frecuencias. Y junto con las capacidades interelectródicas, las espigas forman circuitos parásitos.

El tubo "se colmó de parásitos", cada uno de los cuales posee su frecuencia de resonancia e impide al generador engendrar la frecuencia necesaria. Y no es tan sencillo, además, sintonizar el circuito anódico, digamos a la frecuencia de 10.000 megahertzios. Para elevar su frecuencia, hay que disminuir la capacidad y la conductividad. Se puede desconectar por completo la capacidad y desenrollar la bobina, dejando solo 2 o 3 espiras. Del circuito, en realidad, no quedaría nada, y no obstante, a causa de la influencia de los "parásitos", la frecuencia propia de sus oscilaciones será mucho más baja de 10.000 megahertzios. Por ejemplo, para ondas de 39 centímetros a varios metros (o sea, para frecuencias inferiores de 1.000 megahertzios) fue creado un circuito, que recibió el nombre de circuito-mariposa. Las alas de la mariposa originan una capacidad pequeña. Y en lugar de la bobina quedó el puente de unión, o sea, ¡solamente espira incompleta!

Y a pesar de todo, la frecuencia de las oscilaciones propias en esta es aún insuficiente; para originar ondas centimétricas es necesario elevar la frecuencia de resonancia aún 10 veces más. Y aparte de eso, con el aumento de la frecuencia se reveló una deficiencia más del circuito-mariposa. Cuando la longitud de las ondas se redujo a dimensiones similares a las de los puentes de unión, estos últimos se convirtieron en antenas. La energía de las oscilaciones del circuito comenzó a irradiarse al espacio sin ningún provecho, el coeficiente de rendimiento cayó bruscamente.

Los especialistas tuvieron que mostrar mucha ingeniosidad. Y como resultado de estos esfuerzos aparecieron nuevos circuitos que por su forma parecían vasos, y por fin fue creado el... tríodo.

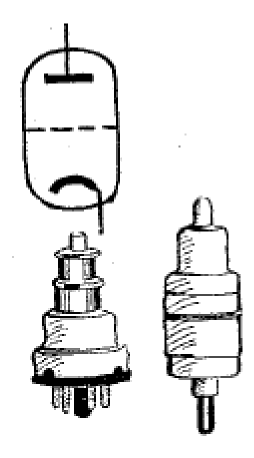
Si, si, no se asombren, no fue ni el tetrodo ni el pentodo sino el tríodo. Pero este tríodo fue creado especialmente para frecuencias ultra elevadas (FUE) y solamente tenía un parentesco lejano con el tríodo anterior de frecuencias bajas.

Es un tríodo, pero no del todo

§ 4. 11

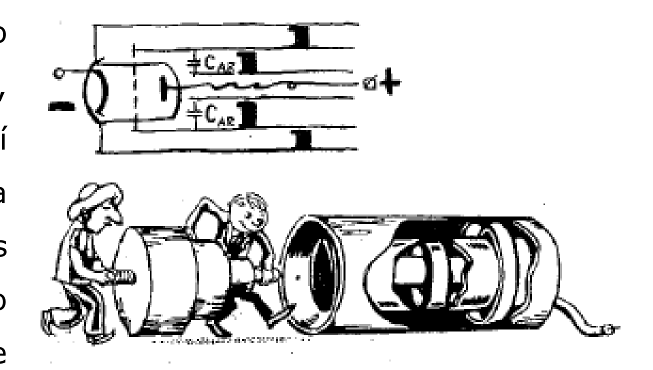
Ante ustedes dos representantes de la numerosa familia de dispositivos electrónicos, designados para frecuencias ultra elevadas (FUE). En el interior de estos tubos se pueden encontrar todos los elementos de los triodos corrientes: ánodo, cátodo, rejilla, filamento. Pero por su vista exterior estos no se parecen a los tubos anteriores. Y en el interior existen no pocas diferencias de los triodos anteriores.

El balón del tubo de la derecha representa un conjunto de cilindros metálicos con las bases cubiertas con cerámica. Estos tubos llevan el nombre de tubos de cerámica metálica.



En el tubo de izquierda (de faro) la ampolla se compone de varios escalones y por su forma recuerda un faro. La rareza de las formas de los triodos de hiperfrecuencia quedara absolutamente comprendida después de que nosotros conozcamos los generadores de hiperfrecuencia, en los cuales se utilizan los triodos mencionados.

§ 4. 12

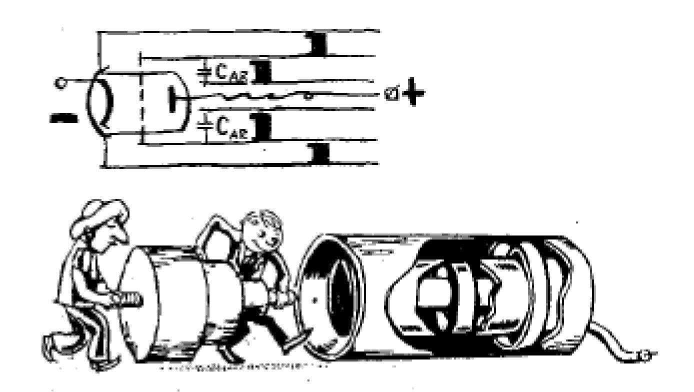


En el generador a triodos de faro no encontrarán el circuito corriente, compuestos por los elementos LC. Aquí los circuitos por su forma se asemejan a los vasos y se fijan directamente a los terminales de disco del tubo. El tubo parece fundirse con el circuito por lo que no vemos las espigas, lo que quiere decir que carecen de inductividad. Con respecto a la capacidad parásita (por ejemplo, C4p), esta se encuentra conectada al circuito, formando parte íntegra de éste.

§ 4.13

Los circuitos de semejante tipo se denominan resonadores de cavidad. En estas se originan ondas estacionarias.

Cierta semejanza con estas ondas presentan las oscilaciones que se originaran en una cuerda si un extremo de ella se fija en la pared, y cogiendo en la mano el otro, se empieza a desplazar este, uniformemente, hacia arriba y hacia abajo. La onda correrá hasta la pared, será reflejada, y comenzará a retroceder. Pero al encuentro de ella corre una nueva cresta de onda.



Como resultado de la composición de las ondas directas con la reflejada, en la cuerda surgirán ondas estacionarias. En unos lugares (AA, BB, véase la figura) se

formaran vientres: aquí la cuerda oscila con mayor amplitud. Mientras que otros puntos (a, b, c) se encuentran inmóviles: se denominan nudos de la onda estacionaria. El punto c en el cual nosotros fijamos la cuerda será el primer nudo.

Las ondas en el resonador de cavidad son, claro esta, de otra naturaleza: aquí tienen lugar las oscilaciones de las fuerzas eléctricas y magnéticas.

Pero, nosotros, nos convencemos una vez más de que las ondas con distinto origen poseen cualidades comunes: en el resonador de cavidad también existen vientres y nudos. El pistón del circuito desempeña el papel de la pared en la que fue fijada la cuerda: el nudo de voltaje surge precisamente en él. El pistón representa un cortocircuito: aquí la resistencia (y por consiguiente, la tensión) resultante nula (véase la curva de voltaje U). Pero allí, donde la resistencia es pequeña, la intensidad de la corriente resulta muy grande. Por eso el vientre de la corriente se originará precisamente en ese lugar. (Véase la curva J). Al desplazar el pistón, junto con éste se desplazan el nudo de voltaje y el vientre de la corriente: varía la longitud de la onda estacionaría. Un gran mérito en la elaboración de la teoría de los resonadores de cavidad pertenece al científico soviético M. S. Neiman,

§ 4.14

Para la generación de oscilaciones es necesario un circuito de retorno (reacción). Esta reacción se crea por medio de un bucle especial que transmite la energía del circuito anódico al circuito de rejilla.

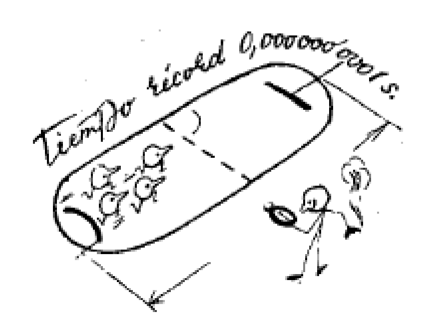
Otro bucle permite tomar una parte de la energía de las oscilaciones del circuito anódico para ser transmitida a la antena y ser irradiada al éter. Allí donde hay un vientre de corriente (es decir, en el pistón) el campo magnético resulta muy grande. Por eso, precisamente, aquí es donde se coloca el bucle.

Esa misma energía puede ser tomada a través de la capacidad. La capacidad debe colocarse lo más cerca posible del vientre de voltaje, o sea, en el lugar de concentración de las fuerzas eléctricas.

Desplazando el pistón hacia la izquierda y hacia la derecha se modifica la longitud de las ondas estacionarias, realizando con esto el ajuste del generador a la frecuencia requerida.

Los electrones son demasiado lentos

Únicamente por la vista exterior del nuevo generador se puede juzgar de cuán dura de roer fue la gama de FUE. Todo hubo que diseñarse de nuevo: esquemas, tubos y circuitos.



Parecía que en la nueva estructura de los tubos se había previsto todo. Y, sin embargo, el generador a base de estos tubos no puede producir una frecuencia tan siquiera de 3000 megahertzios. La longitud de la onda con esta frecuencia es igual a 10 centímetros. Pero la localización exige que las ondas sean tres veces cortas. Esta necesita ondas con longitud de 3 cm, es decir frecuencias de hasta 10,000 megahertzios. En estas frecuencias no puedan funcionar ni los tubos nuevos, a pesar de que estos fueron creados especialmente para frecuencias ultra-elevadas. ¿Por que? Si el tubo y los circuitos forman un todo, y las capacidades parásitas que antes presentaban un obstáculo, ahora se integraron en los circuitos. No existen las inductividades, las espigas se convirtieron en discos y estos también se integraron en los circuitos. ¿Qué es lo que ahora impide obtener oscilaciones de las más altas frecuencias?

Pues molesta una circunstancia: en estos tubos el electrón emitido por el cátodo, tarda demasiado en alcanzar el ánodo. ¿Que ha pasado aquí con el electrón? ¿Adónde se metieron su movilidad y ligereza de las que nos admirábamos antes literalmente a cada paso?

El electrón sigue siendo tan rápido come antes. Y el tiempo de su recorrido desde el cátodo al ánodo constituye nada más que una diezmilmillonésima parte de segundo, 10.000 veces más corto que el microsegundo. Pero en la gama de las oscilaciones de FUE las milmillonésimas partes de segundo adquieren un significado

determinante. La cuestión es, que precisamente este es el tiempo (una diezmilmillonésima parte de segundo) que dura un ciclo completo de oscilaciones de la frecuencia de 10.000 megahertzios. Mientras el electrón pasa del cátodo al ánodo, a la tensión, en el circuito, le da tiempo a alcanzar las magnitudes máximas, caer y de nuevo crecer. Resulta, efectivamente, que en comparación con la velocidad de variación de la tensión, el electrón se mueve bastante lento. Incluso él resulta ser muy lento para frecuencias tan altas. En nuestras escalas habituales del tiempo a una diezmilmillonésima parte de segundo no se puede llamar ni siquiera instante. Pero para los tubos de FUE este instante es demasiado largo: estos perciben el tiempo con mucha más sensibilidad que nosotros. Hasta el momento hemos considerado que en el generador todo transcurre instantáneamente: surgió la señal en el ánodo, pasó por el circuito de retorno a la rejilla e inmediatamente le transmitió al ánodo un "impulso".

Pero en el campo de las FUE el concepto “inmediatamente” adquiere un sentido distinto.

Surgió la señal en el ánodo. Paso por el circuito de retorno a la rejilla. Se incrementó el potencial en la rejilla y empujó hacia el ánodo al electrón “lento”.

Pero mientras el electrón pasaba del cátodo al ánodo, la semionda positiva en el ánodo fue sustituida por la semionda negativa. El electrón llegó inoportunamente. Como si alguien queriendo balancear un péndulo intentase cambiar la dirección, no en el punto extremo de su trayectoria, sino en algún punto intermedio del camino. En este case, cada vez, antes de impulsar el péndulo, habrá que pararlo, por eso las oscilaciones no crecerán, sino que se atenuaran. Lo mismo ocurre en el tríodo: el tiempo de recorrido del electrón “lento”, conmensurable con el período de las oscilaciones de FUE, crea una diferencia de fases entre las oscilaciones en el ánodo y la rejilla (véase § 3.12) y la tensión del retorno comienza a funcionar “descompasadamente”.

¿Cómo reducir el tiempo de recorrido? Pudiera parecer sencillo: reducir el recorrido del electrón. Así precisamente, se hizo. En los triodos, creados para las oscilaciones de FUE en un huelgo similar al grueso de una hoja de afeitar, lograron colocar el cátodo, la rejilla y el ánodo. ¡Involuntariamente nos viene a la memoria el maestro elogiado, en sus tiempos, por Leskov por haber logrado herrar una pulga!

Pero la cuestión aquí ni siquiera consiste en las dificultades de fabricación. El Levshá contemporáneo podía hacer un huelgo aún menor, si esto no empeorara la calidad de los tubos.

La tensión en el ánodo del tubo es alta. Si el cátodo se encuentra muy cerca del ánodo, entre ellos puede surgir una chispa. Hay que tener en cuenta otro peligro: cuanto menor es la distancia entre los electrodos, tanto mayor será la magnitud de la capacidad parásita (véase § 3.21). Y cuando la capacidad parásita es considerable, dejan de funcionar hasta los circuitos de cavidad. ¿Cómo salir de esta situación? Separando los electrodos, aumentará el tiempo de recorrido. Aproximándolos: crecerá la capacidad parásita.

¡Esto, es ya realmente una crisis! ¡Un verdadero círculo vicioso!

¿Quizá probemos, manteniendo el huelgo reducido, disminuir la superficie de la rejilla, del ánodo y del cátodo? Entonces la capacidad disminuirá, mientras que el tiempo de recorrido no aumentará. No, esto tampoco es una salida.

¡El cátodo con pequeña superficie no dará suficiente cantidad de electrones! ¡El ánodo con pequeña superficie no dejará pasar suficiente corriente!

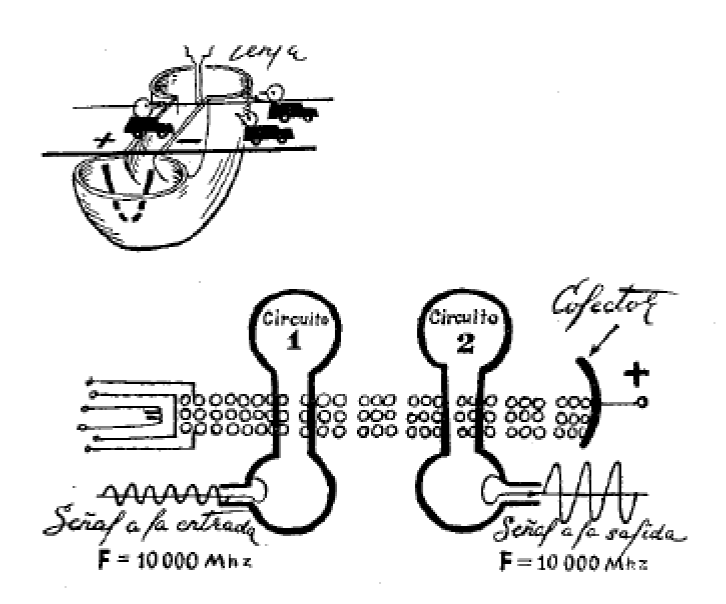
Todo esto se tuvo en cuenta al crear los triodos de cerámica metálica y de faro. Todas las dimensiones aquí no son casuales. No se puede arrimar más los electrodos: comenzará a molestar la capacidad parásita. No se pueden reducir sus superficies: disminuirá la corriente en el tubo, esto resultaría de baja potencia. Y la localización exige impulsos potentes para los objetivos de gran distancia. Por eso estos triodos se empezaron a utilizar para la amplificación y generación de ondas más largas de 10 centímetros. Para la creación de ondas con longitud de 3 centímetros fue necesario buscar nuevos caminos.

El circuito en calidad de semáforo

En las primeras construcciones de generadores de FUE el circuito formaba un todo con el tubo electrónico. ¿Y no se podría ir más allá: crear tal construcción, en la cual el circuito pasara a formar parte del propio tubo electrónico? Resulta que es posible. Precisamente así están construidos los generadores de ondas de 3 centímetros de longitud: el magnetrón y el klistrón.

En el klistrón de nuevo encontró utilización el conocido por nosotros, cañón electrónico. El haz electrónico traspasa el espacio en el interior del klistrón y se apoya en el electrodo-colector, al cual se ha suministrado potencial positivo. En el camino del haz están instalados dos circuitos resonantes. Estos se parecen a las roscas de pan. Los agujeros de las "roscas" están cubiertos con mallas, a través de las cuales el electrón puede pasar libremente. Dentro de las "roscas" (campo alternativo) se encuentran las mismas ondas estacionarias que los circuitos § 4.12 y § 4.13.

Estos dos circuitos están sintonizados a la onda de 3 centímetros, es decir, a la frecuencia de 10.000 megahertzios.

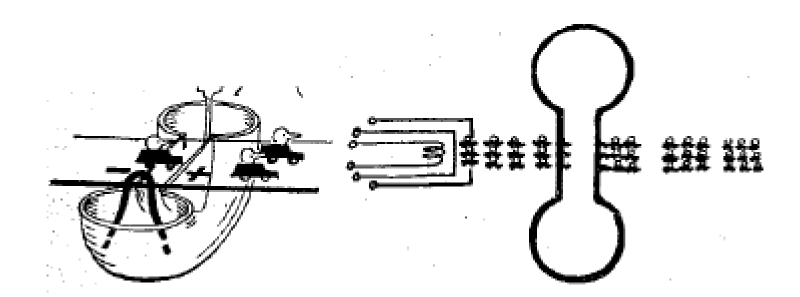


Por el camino, desde la salida hasta la meta, el electrón encontrará, primero, el circuito No 1. Con ayuda del bucle aquí se suministra la energía de las oscilaciones con frecuencia de 10.000 megahertzios. Durante cada periodo de oscilación estas oscilaciones actúan sobre los electrones de diferente modo. En el haz se originan enjambres y rarefacciones.

Algo semejante ocurre con los automóviles que se desplazan por el circuito Sadóvoie de Moscú y por otras carreteras donde existe regulación automática del tráfico urbano.

Mientras no hay luz roja conecta la velocidad máxima, alcanza a aquellos que van delante; pero si no tuviste suerte, no lograste colarte antes de encenderse la luz roja, frena y espera, hasta que otros lo alcancen. Cuando de nuevo se encienda la luz verde, podrás seguir adelante en el "enjambre" de vehículos que se originó al pie de la luz roja. Pasados unos cuantos semáforos, todos los vehículos se distribuirán en grupos: unos tendrán que esperar en el semáforo a los que vienen detrás, otros alcanzaran a aquellos que iban delante.

En el klistrón ocurre casi lo mismo: los electrones, son los automóviles y el circuito actúa como un semáforo. Pero el semáforo solamente da las señales, y los choferes regulan la velocidad de las máquinas según estas señales. En el klistrón es distinto. El circuito mismo regula la velocidad: los electrones que pasan a través de sus mallas, bien se aceleran, bien frenan en dependencia de cuál semionda de voltaje actúa en el circuito en el momento dado.



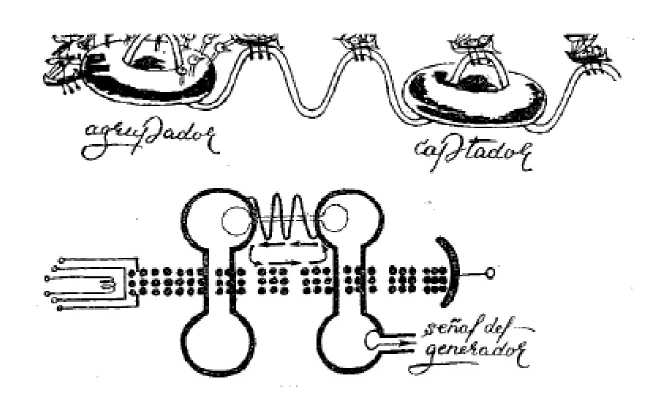
Si en la malla derecha del circuito No. 1 tenemos "más" y en la izquierda "menos", el campo eléctrico acelerara al electrón que se encuentra entre las mallas: En el momento siguiente los signos en las mallas cambiaron, y el electrón, que en este momento se encuentra entre las mallas, tendrá que reducir la velocidad, el campo comenzará a frenarle. Como resultado, los enjambres y rarefacciones de los electrones serán casi idénticos a las del circuito Sadovoie.

El klistrón es semejante a los golpes de mar

El término "klistrón" vino a la electrónica del griego. Significa golpes de mar.

La denominación de este aparato refleja muy bien el principio de su funcionamiento. Los electrones, reunidos por el primer circuito en grupos, actúan sobre el segundo circuito de la misma manera que actúan los golpes de mar sobre un atracadero

flotante. Los "enjambres" de electrones pasan uno tras otro cerca del circuito Nº 2 sufriendo este último un impulso de cada uno de ellos. ¿Cuántos impulsos semejantes se repetirán durante un segundo?



Los grupos surgen en el circuito Nº 1 (el semáforo).

Como señales del semáforo sirven las oscilaciones eléctricas suministradas al circuito Nº 1. La señal verde del "semáforo" (es decir, la semionda de tensión aceleradora) cambia por la roja (por la semionda de frenado) con una frecuencia de 10.000 megahertzios. Esto significa que los "enjambres" y las rarefacciones se suceden con esta misma frecuencia. Estos golpes de mar" impulsan al segundo circuito (llamado captador) 10.000.000.000 veces por segundo al compás de la frecuencia propia.

Así pues, las oscilaciones eléctricas, conducidas al primer circuito (llamado agrupador), mediante el flujo de electrones son transmitidas al segundo circuito, estando los dos circuitos en reglaje de resonancia. En el segundo circuito las oscilaciones tendrán una amplitud considerablemente mayor. Caso que, estas son originadas por los electrones y estos últimos adquieren previamente una energía grande del campo permanente. Este campo creado y constituido por el colector y los electrodos aceleradores del "cañón electrónico", acelera a los electrones hasta velocidades muy grandes. En este sentido, el klistrón se asemeja a cualquier otro amplificador: la amplificación de las oscilaciones se efectúa a cuenta de la energía del manantial de corriente continua.

El amplificador puede ser fácilmente convertido en generador: hay que crear un circuito de retorno (de reacción). Si se une el captador y el agrupador mediante un

bucle, una parte de la energía de las oscilaciones del captador retornará por el circuito de reacción. Esta porción de energía es suficiente para que el abrupto adora pueda crear los "enjambres" y en el interior del klistrón surgirán los "golpes de mar".

Las olas balancearán el circuito-captador, una parte de la energía de las oscilaciones de nuevo se transmitirá al agrupador: se forma un círculo cerrado ininterrumpido. El klistrón comenzará a generar. La frecuencia de la generación será igual a la frecuencia propia de los circuitos. ¿Por que fue necesario, para obtener la reacción, realizar el enlace de los circuitos en el klistrón mediante un bucle especial? En los circuitos existen mallas. A través de los orificios de las mallas pasa todo el flujo de electrones. Entonces, ¿por qué la onda no se filtra a través de la malla pasando del captador al agrupador, creando con esto la reacción?

El secreto está en que aquí se originan ondas con longitud de 3 centímetros aproximadamente, mientras que los agujeros de las mallas son de tamaño muy inferior. La onda "no distingue" agujeros tan diminutos. Si las ondas y los electrones tuviesen la aptitud de ver, los electrones verían la malla transparente y las olas como una tapia.

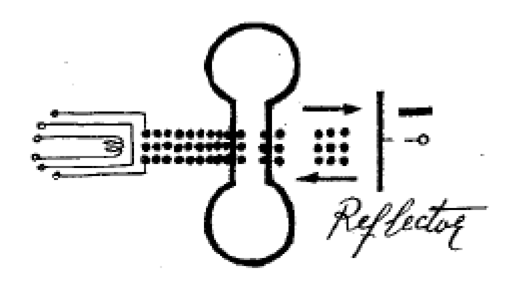
El tiempo se hizo imprescindible

Las frecuencias del orden de 10,000 megahertzios resultaron superiores a las fuerzas del periodo. Sin embargo, el klistrón pudo fácilmente con ellas. ¿Por qué? De nuevo hablaremos de la duración del recorrido, sobre aquel instante, cuando el electrón abandonó el cátodo, pero aún no logró alcanzar el ánodo.

Con el paso a la gama de FUE el período modificó su semblante. En la nueva construcción se logró deshacerse de los "desagrados", ligados con la influencia telas y utilidades y capacidades parásitas. Pero quedó el largo tiempo de recorrido, un mar interno, irremediable, profundamente oculto.

¿Cómo fue resuelto en el klistrón este problema? Con mucha originalidad: si en el periodo la duración del recorrido representaba un mal, el klistrón sin él, sencillamente, no podría valerse pues es durante este instante cuando deben realizarse los procesos en los cuales se basa todo el trabajo del klistrón. En el

tiempo que los electrones se desplazan, ellos deberán dividirse en grupos y por el camino excitar al captador, del cual se extrae la potente señal amplificada.
¿Y cómo proceder con la capacidad parásita? Es conocido, que él los circuitos hay mallas a través de las cuales pasan los electrones. Si aproximamos las mallas una a la otra formarán una capacidad grande. Puede ocurrir que, por consecuencia de esta capacidad, no se logre ajustar el circuito a la frecuencia de 10.000 megahertzios. Esto significa que las mallas deben sor separadas. El recorrido entre las mallas resultará más prolongado, el tiempo de recorrido también.
Un cuadro interesante resultaría si la duración del recorrido entre las mallas fuera igual al periodo de las oscilaciones de FUE... Mientras el electrón hace el recorrido entre las mallas, a la semionda positiva de oscilaciones la sustituye la negativa. Y la onda, que al principio instigaba al electrón, comienza ahora a frenarle. Un impulso, un frenado, otro impulso, otro frenado, y véase, todos los electrones forman ya un flujo continuo y no hay ningún grupo.



Como si el semáforo parpadeara, para la luz roja en un instante y de nuevo conectará la verde, dejando pasar los flujos de automóviles.
¿Cómo salvar la situación? Arrimas las mallas, obtendrás grandes capacidades. Las separas más, el circuito no podrá agrupar.
Nos salva una circunstancia. El caso es que el cañón electrónico del klistrón acelera a los electrones hasta grandes velocidades. El tiempo total del recorrido en este caso se mantiene bastante largo, puesto que el camino, del cátodo al colector es demasiado largo. Pero el pequeño trayecto entre las mallas, el electrón lo recorre rápidamente, incluso en el caso, cuando las mallas están muy separadas. Es decir, se pueden separar las mallas sin temor y disminuyendo con esto la capacidad nociva, operar con señales de hasta las más altas frecuencias.

De nuevo las ventajas las tiene el klistrón; una vez más el tríodo tiene que reconocer que en el campo de las oscilaciones de FUE no puede competir con el klistrón. Sobre todo después que el klistrón para la generación de oscilaciones de FUE se vale de un solo circuito en vez de dos.

En este klistrón (se denomina de reflexión) se encarnó la siguiente idea: si para la generación se necesita, de todos modos, unir con auxilio de un bucle el circuito captador con el agrupador, ¿no se podría hacer que en un mismo circuito captara y agrupara?

Así se hizo. Con ayuda del circuito se comenzó a agrupar a los electrones en "enjambres" y les obligaron a desplazarse hacia el reflector: electrodo con potencial negativo. En torno al respecto existe un campo, del cual los electrones rebotan como garbanzos en una pared. De podrá votar se desplazan en dirección contraria y en los ni os he enjambres regresan al circuito, entregando de la energía forma de impactos consecutivos.

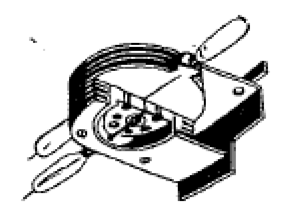
La frecuencia de los intactos (y, por consiguiente, la frecuencia de generación) obligatoriamente coincidirá con la frecuencia propia del circuito resonante, ya que el circuito reunió en si todas las funciones: la agrupación, la captación de energía y la reacción.

Los primeros modelos de klistrón de reflexión fueron construidos en el año 1941 por V. F. Kovelenko. Independientemente de que él N. D. Deviatkov y N. V. Piscunov crearon una construcción análoga.

Pero la idea general del klistrón nació mucho antes: esta fue propuesta en el año 1932 por uno los pioneros de la radio técnica soviética D. A. Rozhank I.

El electrón vino a dar con el magnetrón

§ 4.15

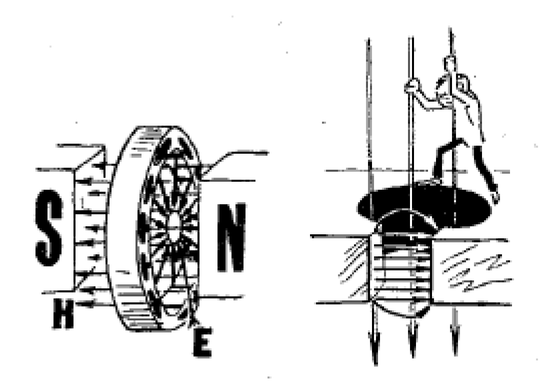


He aquí un representante más de la familia de los aparatos electrónicos destinados para la generación de oscilaciones de frecuencias ultra elevadas. Se llama magnetrón. El aparato con un nombre tan altisonante, fue inventado allá por los años 20, pero obtuvo la popularidad bastante más tarde, después de que la localización promovió el problema del dominio de las ondas centimétricas.

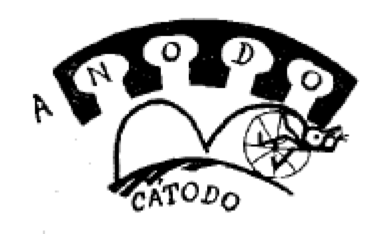
Entonces fue creado por los ingenieros soviéticos N. F. Alekseiev y D. E. Maliarov, bajo la dirección de M. A. Bonch-Bruiévich, el primer magnetrón de cámaras múltiples.

§ 4.16

Hemos tenido ya la ocasión de analizar la conducta del electrón sobre el cual actúan simultáneamente las fuerzas eléctricas y magnéticas (Capítulo III). "Ejercicios de acrobacia aérea"). En las lentes magnéticas las fuerzas del campo magnético están dirigidas a lo largo de la trayectoria de los electrones. En el magnetrón estas actúan transversalmente. Sin embargo, el electrón también en este caso se ve obligado por la acción de las fuerzas magnéticas a dominar la técnica de la acrobacia aérea. Aquí, el se desplazan por una curva compleja que lleva el nombre de cicloide. Esta misma curva la describe cualquier punto de la llanta de una rueda movimiento.



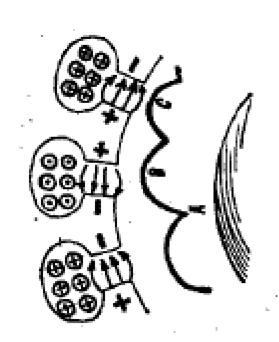
Al mismo tiempo, el ánodo pretende atraer hacia sí a todos los electrones, arrancándoles del abrazo del campo magnético. Tenemos presente una concurrencia original: el campo eléctrico del ánodo obliga al electrón a desplazarse en línea recta, mientras que el magnético pretende con la mayor fuerza posible hacerle girar.



Si intensificamos el campo magnético, aumentará el torcido. Si intensificamos el campo del ánodo, entonces los rizos de la cicloide comenzarán a enderezarse. Las fuerzas de estos campos de acción contraria en el magnetrón, se eligen de tal modo que la espira de la cicloide no alcance el ánodo y el electrón no vaya a parar al ánodo.

§ 4.17

Además de los campos permanentes, sobre el electrón actúa también un campo alternativo, que surge en los circuitos del magnetrón. Los circuitos en este caso son también tridimensionales. Están situados en el mismo ánodo. Estos son aquellas mismas cámaras que dieron al dispositivo el nombre de magnetrón de cámaras múltiples. En el interior de las cámaras se concentran las fuerzas magnéticas, mientras que las fuerzas eléctricas se sitúan en las ranuras. Las ranuras son una especie de condensadores de los circuitos, y las cavidades, sus bobinas.



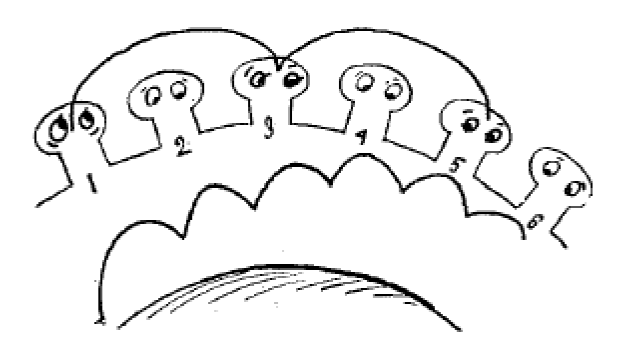
§ 4.18

Igual que el klistrón, el campo del circuito puede acelerar o retener al electrón que pasa cerca de él en dependencia del tipo de semionda de oscilaciones que surge en la cámara en este momento. El electrón al pasar por el campo de frenado de una de las cámaras, entrega a este campo una parte de su energía. Como consecuencia, el electrón agota su energía antes de que pueda regresar al cátodo, y en el punto A su velocidad se hace nula. Pero aquí, él es atraído por los campos de la cámara-circuito vecina, recobra nuevas fuerzas y en el mismo punto A comienza a describir una nueva espira. La segunda espira le conduce a la cámara siguiente (punto B).

§ 4. 19

Las cámaras están unidas entre sí por medio de enlaces especiales, pero no consecutivamente sino alternativamente. Si numerásemos todas las cámaras por orden, resultan que todas las cámaras pares estarán unidas entre sí, y las impares,

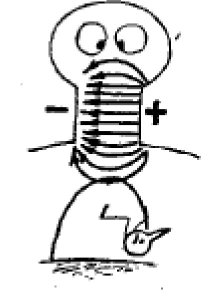
entre sí. Por eso, en un momento determinado en todas las cámaras pares (o en todas las impares) actúa una misma semionda. En las cámaras vecinas las oscilaciones se encuentran en contrafase: en el instante en que el campo de la cámara 1 frena a los electrones, el campo de la cámara 2 los acelera; pero mientras el electrón se alejaba de la primera cámara y se acercaba a la segunda, por la segunda espira transcurrió justamente un semiperiodo de oscilaciones. Los signos en las cámaras se han invertido: en este momento en la cámara 2 surge el campo de frenado.



Todo aquí esta calculado con gran precisión: recorriendo consecutivamente todas las cámaras, el electrón cada vez llega en aquellos mementos cuando en la cámara actúa la semionda de frenado que obliga al electrón a entregarle parte de su energía. En definitiva el electrón entregara toda su energía e incidirá sobre el ánodo.

§ 4.20

Otro destino recibirá su mal aventurado compañero, si este se retrasa un poco y llega a la cámara No. 1 cuando entre en acción la semionda aceleradora. Al recibir de esta una energía adicional él trazará una espira completa de la cicloide y alcanzará el cátodo antes de que su velocidad se haga nula. Al chocar contra el cátodo le entregará a este la energía restante y se retirará para siempre del juego.



Tras él, el cátodo será alcanzado por todos los electrones desfasados respecto al voltaje alternativo de las cámaras. Por cuanto que éstos entregan al cátodo la energía restante, la lluvia electrónica no

enfriará sino calentara al cátodo. Este calentamiento suele ser tan grande que, frecuentemente, se practica el caldero del filamento al principio del proceso y cuando el magnetrón empieza a generar se desconecta.

§ 4.21

Los electrones puestos en fase interactúan con el campo de las cámaras de distinto modo, ya que en el momento de la semionda de frenado de voltaje estos se encuentran en distintos puntos de la cicloide.

Cuanto más veloz sea el electrón tanto más fuerte frenará. Los más lentos alcanzarán a los más rápidos, se agrupan en "enjambres" y estos enjambres giran como si fueran los rayos de una rueda en rotación.

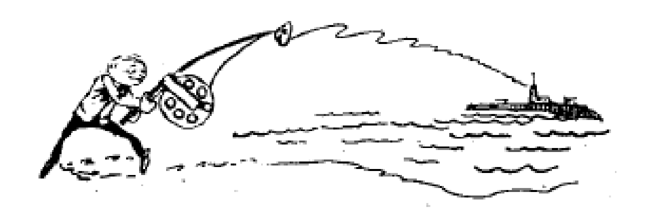
§ 4.22

La energía, entregada por los electrones que componen los "enjambres" mantiene las oscilaciones en los circuitos (cámaras) del magnetrón.

La frecuencia de las oscilaciones de las ondas electromagnéticas es igual a la frecuencia propia (de resonancia) de los circuitos y puede alcanzar 10.000 y hasta 100.000 megahertzios. Con ayuda del bucle introducido en una de las cámaras seleccionan la energía de las oscilaciones y la mandan a la antena para la emisión de ondas centimétricas o milimétricas.

§ 4.23

Si comparamos el magnetrón con el klistrón las ventajas del primero serán evidentes: en el klistrón cada electrón interactúa con el campo una sola vez, sin embargo, en el magnetrón, en su movimiento giratorio él actúa simultáneamente sobre varias cámaras. El giro del electrón está acondicionado a la acción del campo magnético.



Gracias a la acción reiterada de los “enjambres”, en las cámaras del magnetrón se producen oscilaciones de gran magnitud; la potencia del impulso es de cientos y miles de kilovatios. Estos impulsos llegan a la antena de la estación de radar y son dirigidos hacia el objetivo (avión, cohete).

Por muy complicados que sean los procesos que tienen lugar en el magnetrón, estos se basa en el mismo principio con el que nos encontramos en todos los aparatos electrónicos: la interacción de los electrones cargados con las fuerzas de los campos permanentes alternativos.

La ingenuidad y la creación

Incluso cuando se tiene un primer conocimiento superficial de los tipos fundamentales de los aparatos electrónicos para frecuencias ultra elevadas, se ve claramente cuán multiformes son los principios y construcciones ocasionados por la gama de FUE. Sin embargo, los aparatos examinados tienen un parentesco: todos se valen de la resonancia. Y en esto, precisamente, consiste la debilidad común de todos ellos. Todos se portan bien mientras la frecuencia de la señal coincide con la frecuencia propia de los circuitos. ¿Y si se necesita cambiar la frecuencia de la generación?

En el klistrón esto se consigue modificando la tensión en el reflector. Pero, este método permite reajustar la frecuencia solamente dentro de unos límites reducidos: hasta que la señal es capaz de hacer vibrar los circuitos. Esto es posible solamente en el caso en que la frecuencia de los "golpes” se aproxima a la frecuencia propia de los circuitos (véase § 3.8 y § 3.9).

La modificación de la alineación del circuito es una cuestión bastante complicada. Con semejante problema nos encontramos en los receptores: para amplificar nuevas frecuencias hay que realinear sus circuitos.

Durante mucho tiempo se conformaban con esto. Parecía imposible idear algo para el caso: todos los aparatos padecían del mismo defecto. En una sola frecuencia todos ellos funcionan maravillosamente, sin embargo, no hay ninguna posibilidad de modificar la frecuencia en límites amplios o de amplificar aquellas señales que contienen un gran número de frecuencias distintas.

Y en esto aparece un inventor, el cual, al tropezar con este problema hizo una serie de preguntas ingenuas.

¿Por qué es obligatorio el circuito? ¿Por qué es obligatoria la resonancia?

La ingenuidad de este era comprensible. ¿De dónde iba a conocer el arquitecto austriaco Rodolfo Kompfner, todas las dificultades que hubo que superar para la elaboración de los aparatos electrónicos designados para las frecuencias ultra elevadas?

Pero la electrónica tuvo suerte. Precisamente a un arquitecto, y no aún físico, pudieron ocurrírsele tales preguntas y ajenos. Quizás esta fue precisamente la ingenuidad que les falta a los creadores de los aparatos electrónicos, que para los distintos casos de la vida acostumbran a apelar a los circuitos.

El camino escogido por Kompfner fue demasiado inesperado: él decidió rehusar el circuito y conseguir la interacción de los haces de electrones y la onda electromagnética que corre al lado de ellos.

Pero, ¿cómo obligar a la onda y al flujo de electrones que corran uno al lado del otro? La onda corre a la velocidad de la luz, los electrones son de 10 a 15 veces más lentos. Una partícula no puede alcanzar a la luz, esto fue demostrado hace tiempo por Einstein. Pero como suele decirse: ¿si la montaña no puede acercarse a Mahoma, puede ser que Mahoma se acerque a la montaña?

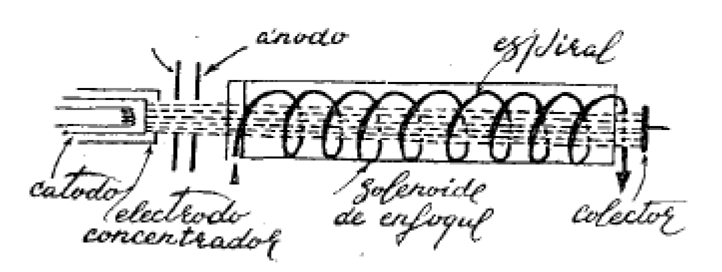
¿El electrón es más lento que la onda? ¡Magnífico!

¿Y por qué no disminuir la velocidad de la onda? De nuevo una pregunta que un especialista podría calificar como ingenua. La onda puede desplazarse a la velocidad de la luz exclusivamente, y ésta última no puede ser modificada por nadie.

Pero Kompfner no solamente era ingenuo. Supo contestar con sentido creador alas preguntas puestas por el mismo. ¿Si es imposible frenar las ondas en su movimiento, quizás se pueda hacer su camino más largo? ... Y obligo a la onda a desplazarse por una espiral.

La onda, por las espiras, se desplaza a la velocidad de la luz. ¿Cuán pronto alcanzará la otra espira? No es nada difícil saberlo: de espira a espira la onda se desplazará a una velocidad tantas veces menor, cuantas veces la distancia entre las espiras sea menor que la longitud de la propia espira.

Y al lado corren los electrones. Al principio ellos adelantan a la onda un poquito, después ésta comienza a frenarlos. Como resultado, la onda recibe energía. Y si en el klistrón y en el magnetrón el electrón le entrega energía al resonador en aquel corto momento, cuando pasa cerca de él, aquí la interacción de los electrones con la onda tiene lugar durante todo el recorrido. Por eso mismo, el efecto de amplificación es mucho más notable: el klistrón amplificaba las señales unas diez veces. Sin embargo, el aparato creado por Kompfner lo hace en un millón de veces... ¡Y sin resonadores ni reajustes de ninguna clase! El tubo puede funcionar con un intervalo de frecuencias amplísimo.



Al arquitecto Kompfner, por la creación de este aparato, se le concedió el título de doctor en ciencias físicas y al aparato se le denominó tubo de onda progresiva.

Los impulsos y Pinocho

La facultad de modificar la frecuencia de la generación en límites amplios, representa una enorme ventaja del tubo de onda progresiva (Corrientemente, para la generación de oscilaciones son usados Los tubos de onda reflejada (inversa), en los que la onda y el flujo de electrones se desplazan al encuentro uno del otro). Pero, quizás, es de más importancia la otra facultad: el tubo de onda progresiva permite amplificar señales, que contienen un gran número de frecuencias distintas.

Nosotros ya conocemos un tipo de semejante señal: la señal portadora de imagen, es decir, la señal de televisión o videoseñal. En ella hay frecuencias desde las más bajas hasta frecuencias bastante altas, hasta 6 megahertzios (véase § 3.41). Estas pueden ser amplificadas con ayuda del pentodo.

Sin embargo, para la radiolocalización, donde las frecuencias de las señales portadoras son diez veces superiores y la banda de amplificación es decenas de

veces más ancha que en la televisión, el tubo de onda progresiva resultó ser un aparato muy valioso.

Para comprender por qué la banda de amplificación debe ser tan ancha, hay que conocer que representa en sí una señal de radiolocalización.

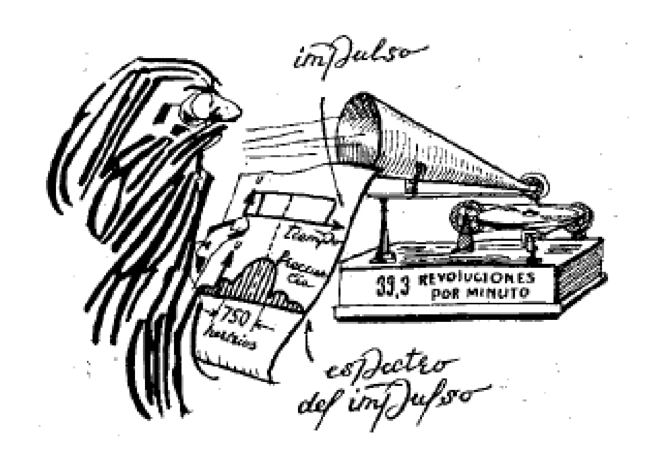
La antena de una estación de radiolocalización emite impulses al espacio, es decir, sobresaltos cortos de ondas centimétricas. La emisión del impulso debe cesar antes de que regrese el anterior, que fue mandado al objeto. De lo contrario, el potente impulso consecutivo del emisor y el que retorna del objeto se superponen y como el último, en su camine de ida y vuelta, ha gastado casi toda su energía, resulta indistinguible en el fondo del impulso mandado por el emisor. Con semejante fenómeno se ha encontrado cualquiera de nosotros: el eco en el bosque repite todas nuestras frases, sin embargo, lo que ustedes únicamente oyen es la última sílaba.

“El viaje” del impulso no es duradero. El se desplazara a la velocidad de la luz y la distancia de unos cientos de metros la recorre en millonésimas de segundo. En este lapso de tiempo debe ser emitido el siguiente impulso. Por lo tanto, la duración de los impulsos emitidos no debe ser superior de millonésimas de segundo. Este resulta cómodo para los emisores: se hace posible concentrar en un impulso estrecho gran energía, permaneciendo pequeña la potencia de las fuentes de corriente continua que alimentan al generador. Sin embargo, son muchos los problemas que surgen durante la recepción y amplificación de las señales de retorno ya que cuanto más estrecho es el impulso más ancha es la banda de frecuencias contenidas en él. Pidan a un ingeniero la explicación de esta propiedad tan rara. En su contestación les propondrá “pescar” una por una todas las frecuencias contenidas en el impulso con la ayuda de una "criba" ajustable a las frecuencias, (véase § 3.9). O les aconsejará apelar a las Matemáticas, representando el impulso como la suma de sinusoides simples mediante la transformación de Fourier. Pero, lo que para un especialista parece ser evidente, es poco probable que satisfaga a la persona que por primera vez hace esta pregunta. Por esta razón, nosotros abordaremos esta cuestión de otra manera: analicemos un simple ejemplo.

Evidentemente que todos han tenido la oportunidad de escuchar las radioemisiones infantiles con la participación de Pinocho. Sin embargo, no todos se imaginan de qué modo logra el autor, que interpreta el papel de Pinocho, imitar la voz del

hombrecito de madera, la cual no tiene nada común con las voces acostumbradas a oír.

Resulta que al actor, en este caso, le ayuda la técnica. Cualquier voz grabada en un disco puede ser transformada en “la voz de Pinocho" incrementado el número de revoluciones del disco, así es como operan en los estudios de radio. El actor que interpreta el rol de Pinocho pronunció el texto lentamente prolongando intencionalmente las palabras. Su actuación es registrada en una cinta magnetofónica, a la cual hacen una segunda grabación a un número de revoluciones aproximadamente dos veces mayor. Las frases que fueron pronunciadas con lentitud recobraran una velocidad natural, más, la voz resultara aguda, estridente. ¿Por que? Pues porque al aumentar el número de revoluciones de la cinta en dos veces; hemos aumentado en la misma cantidad de veces cada una de las frecuencias contenidas en la señal. En efecto, si antes por el lector de sonido pasaban 800 crestas sonoras por segundo, ahora, con un doble número de revoluciones serán 1.600.



Esto mismo ustedes lo pueden realizar con cualquier disco de 33,3 revoluciones por minuto poniéndole a una velocidad mayor, digamos, a 78 revoluciones por minuto. En este caso, el bajo se convertirá en soprano y ustedes podrán oír voces de guiñol, muy cómicas.

Está bien. Pero ¿qué tienen que ver aquellos impulsos?

¿Acaso el disco no representa un impulso? La duración del impulso es el tiempo necesario para oír un disco de cabo a rabo. Un disco microsurco de dimensiones

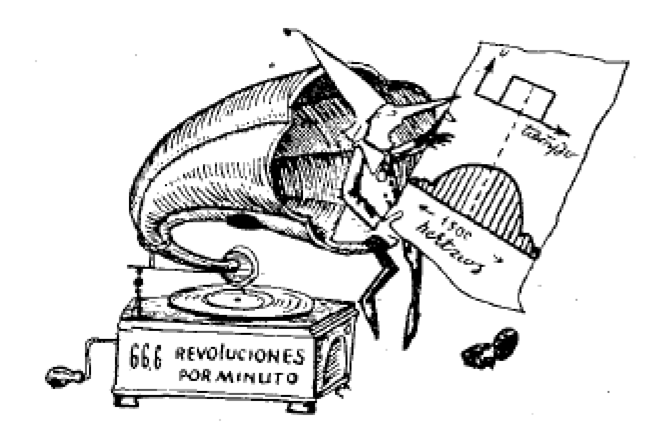
medias, a la velocidad de 33,3 revoluciones por minuto, es tocado aproximadamente en 10 minutos. En el caso dado, los 10 minutos constituyen la duración del "impulso". Si hacemos que el disco gire a la velocidad de 66,6 revoluciones por minuto, el "impulso" se hará dos veces más corto. Con esto, todas las frecuencias contenidas en el sonido grabado en el disco, aumentarán en dos veces y el sonido que ocupaba antes una banda de 50 a 800 hertzios, ahora ocupara una banda de 100 hasta 1.600 hertzios.

A 33,3 rpm la banda es 800 - 50 = 750 hertzios.

A 66,6 rpm, la banda as 1.600 - 100 = 1.500 hertzios.

La banda resultó dos veces más ancha ya que el impulso dura en este caso no 10, sino 5 minutos solamente.

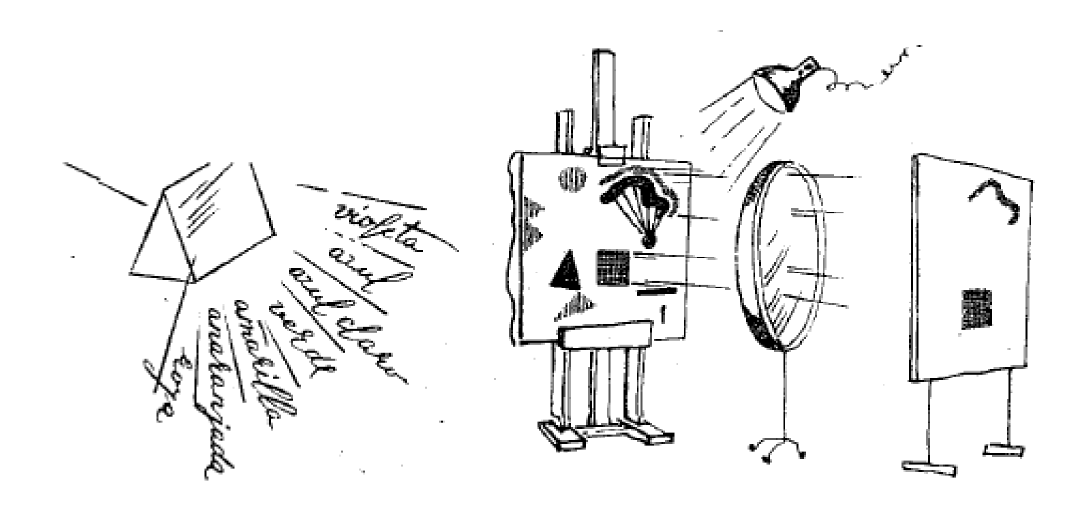
En la radiolocalización, el impulso dura millonésimas de segundo, sin embargo, la ley sigue siendo la misma: si el impulso se hace dos veces más corto, esto significa que la banda de frecuencia crecerá exactamente el doble.



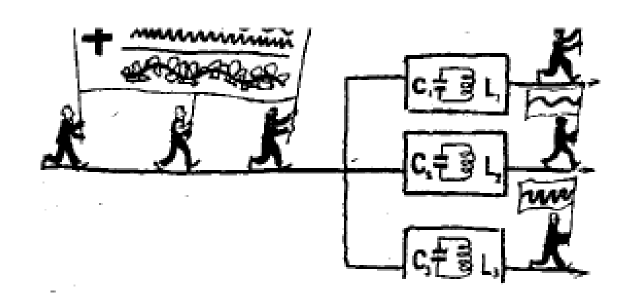
Es conocido por todos, que con auxilio de un filtro óptico, de un haz de color blanco se pueden separar consecutivamente los rayos rojo, azul y verde. En la electrónica, este "filtro óptico" puede ser un circuito de banda estrecha, LC (véase § 3.9). El conjunto de semejantes circuitos se asemeja al prisma óptico: la señal de entrada se descompone aquí en un gran número de distintos "colores".

En su tiempo Isaac Newton escribió en su libro sobre óptica que había logrado por medio de un prisma obtener "la imagen del Sol en colores". La palabra imagen, Newton la escribió en latín: espectro. Hoy día, al conjunto de las frecuencias

contenidas en una señal compuesta, se denomina también en la electrónica espectro, a pesar de que obtener la imagen cromática del impulso es imposible. Es verdad, que si nuestros ojos tuvieran la facultad de ver las radioondas de la misma manera que las ondas de la gama óptica, cada señal se presentaría como un dibujo complicado con numerosos matices, y a veces con una gama completa de colores.

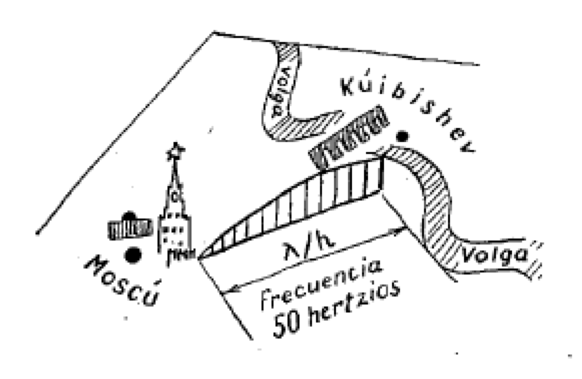


El “dibujo" que llega a los receptores "montado sobre la señal portadora", no es un simple dibujo tejido en tul, sino más bien se asemeja a los dibujos multicolores de las alfombras. La amplificación de las señales compuestas de espectro muy ancho es uno de los problemas más importantes y difíciles de la electrónica. En numerosos casos a la solución de este problema ayuda del tubo de onda progresiva.



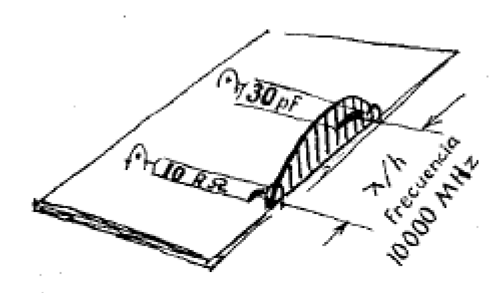
Las ondas corren por un túnel

Como se puede ver, el dominio que las ondas centimétricas fue para la electrónica un trabajo fácil. Fue necesario crear tubos amplificadores y generadores de estructura complicada.

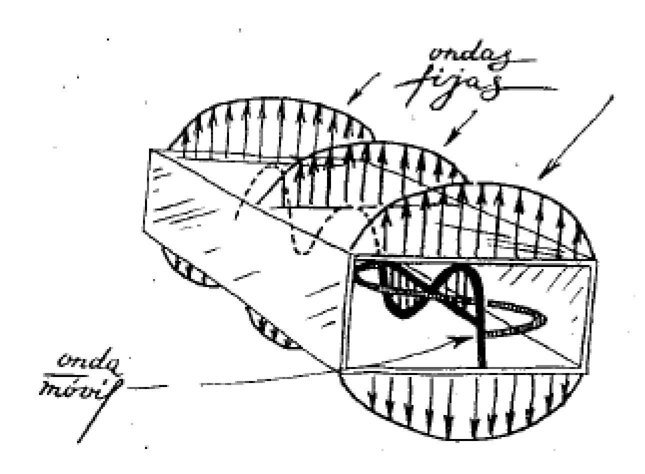


Además la recepción de los impulsos de las ondas centimétricas estaba ligada con el problema de la gama que amplificación. Y hasta el "acarreo" de las señales del generador a la antena y de la antena hasta la entrada del receptor, se convirtió en un problema al que no fue fácil de solucionar. Ante este caso de la gama de las oscilaciones de FUE la señal era transportada por un hilo conductor. Más, cuando la cuestión se refiere a las frecuencias ultra elevadas todas las concepciones habituales resultan no válidas.

Comparen la corriente creada por los generadores de FUE con la corriente industrial. La una y la otra se modifican de formas de sino solo y que, pero la corriente de FUE tiene 10.000.000.000 de oscilaciones por segundo, mientras que la corriente que fluye por los hilos conductores de su apartamento tiene solamente 50. En tantas veces se diferencian las ondas: en el generador de FUE, son de 3 centímetros, en el hilo conductor, ¡de 6.000 kilómetros! A todo lo largo del tendido de los cables conductores, que unen la central hidroeléctrica de Kuibishev con Moscú cabe solamente una cuarta parte de onda. Al mismo tiempo en un hilo conductor de varios centímetros cuando tienen lugar las oscilaciones de FUE caben unas cuantas ondas. Un cable de 7,5 milímetros de longitud (un cuarto de onda) trabaja ya como una antena, que dispersa la energía de las FUE al espacio. Además de esto, con el incremento de las frecuencias de las oscilaciones de FUE crecen las pérdidas en el interior de los hilos conductores.

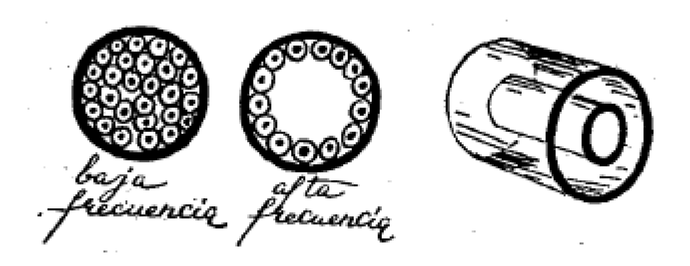


Desde los tiempos de Faraday es conocido que basta poner la carga en movimiento para que instantáneamente aparezca alrededor de ella una aureola (véase § 3.46). En la aureola se encuentran las fuerzas magnéticas. Cuanto más intenso es el movimiento más fuerte será el campo de las fuerzas magnéticas. Efectuando 10.000.000.000 de oscilaciones por segundo, el electrón engendra un campo de tal potencia que empieza a molestar considerablemente a los electrones vecinos. Hay que tener en cuenta que estos también realizan las mismas oscilaciones y cada uno de ellos tiene su aureola. En el interior del hilo conductor los electrones se encuentran muy estrechos y de elegir de este pasa a la capa superficial donde existe más holgura: por lo menos aquí nadie les presiona por la parte de fuera del conductor.



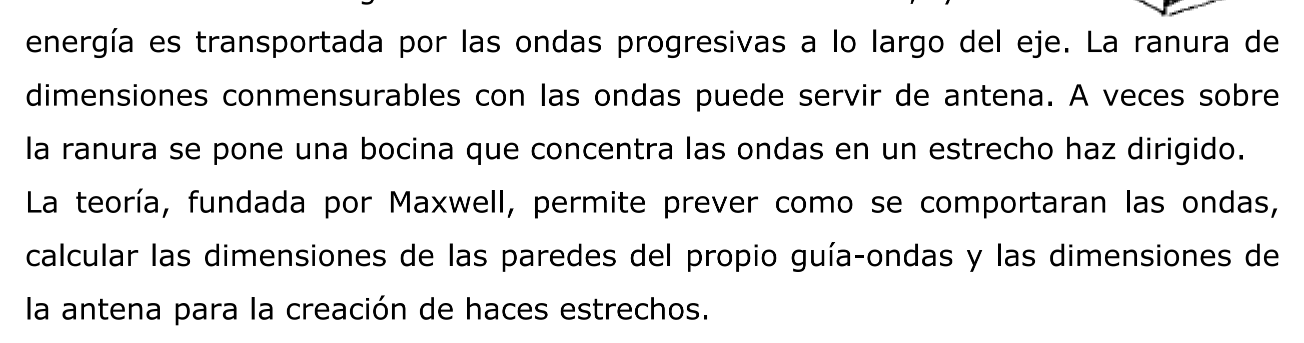
De esto se deduce una propiedad de importancia: las corrientes de frecuencias ultra elevadas fluyen siempre por una capa delgada por la superficie del hilo conductor. Es evidente, que en este caso la resistencia que se les opone se hace mayor: una cosa es cuando el agua corre por tubos anchos y otra cuando se la obliga a correr

por la holgura entre dos tubos. A causa de la gran resistencia, la energía de las oscilaciones de FUE comienza a consumirse en el calentamiento de los hilos conductores. En breve, el hilo conductor no sirve para la transmisión de oscilaciones de FUE. Por esto que la energía que oscila con frecuencias ultra elevadas es transportada sin la ayuda de los hilos conductores.



¿Cómo? Directamente, a través del espacio.

Pero el espacio ha de ser limitado, de lo contrario, las ondas correrán en todas las direcciones, la energía se derramará y al lugar requerido llegará solamente una parte ínfima, despreciable. Para que no ocurra esto la onda es transportada por canales especiales semejantes a los túneles del metro. Este túnel se denomina guía-ondas. El campo en el interior del guía-ondas es de carácter complicado. Transversalmente al guía-ondas las ondas estacionarias, y la energía es transportada por las ondas progresivas a lo largo del eje. La ranura de dimensiones conmensurables con las ondas puede servir de antena. A veces sobre la ranura se pone una bocina que concentra las ondas en un estrecho haz dirigido.



La teoría, fundada por Maxwell, permite prever como se comportaran las ondas, calcular las dimensiones de las paredes del propio guía-ondas y las dimensiones de la antena para la creación de haces estrechos.

El campo es fuego frío

§ 4.24

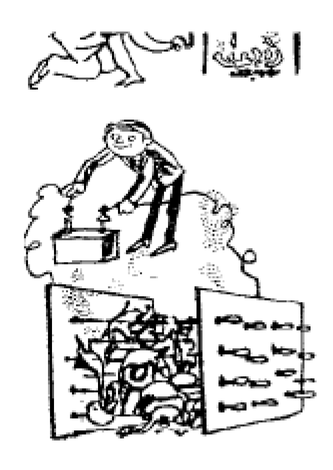
¿Cuánto tiempo se necesita para asar un pato? Cerca de una hora. Sin embargo, puede ser asado en 6 minutos.



Para este fin crearon el hornillo-maravilla. Este no necesita ni leña, ni gas, ni espirales incandescentes. ¿Y cómo se asa el pato?
¡Con magnetrones!

§ 4.25

Si entra las armaduras de un condensador se coloca un material con una resistencia infinitamente grande (aislador ideal), la corriente no pasará a través de él.
Pero en la naturaleza no existe nada ideal. Todos los aisladores (entre los que se encuentran también el cuerpo del pato) tienen una resistencia finita y sometidos a la acción del campo eléctrico dejan pasar la corriente. Todos los aisladores son de mala conductibilidad térmica, por eso puestos al fuego común se calientan con dificultad e irregularmente: el pato podría quemarse por fuera, quedándose crudo por dentro. El campo, sin embargo, penetra a través del aislador (el pato) y la corriente que surge engendra calor. El calor que se desprende será tanto mayor, cuanto mayor sea la frecuencia de las oscilaciones de la energía. Como fuente de estas oscilaciones puede servir un magnetrón.



§ 4. 26

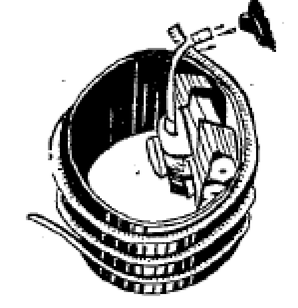
La "llama fría", de las frecuencias ultra elevadas encontró numerosas aplicaciones. Con su ayuda ablandar el vidrio para darle después la forma requerida, prensa material plástico, vulcanizan el caucho, secan algodón y lana.

Esta "llama" es utilizada ampliamente por la industria alimenticia. Con ella curan jamones, secan tabaco y azúcar, eliminan las larvas de los gusanos de la harina.

La "máquina de coser" electrónicas tiene un mecanismo ingenioso. Entre las armaduras del condensador se colocan dos tiras de plástico o de caucho. Bajo la acción del campo estas tiras se aglutinan formando una postura. Una postura sin hacer un solo agujero ¿qué puede haber mejor para la fabricación de colchones de ahí que, embarcaciones pequeñas, juguetes de playa, fundas y capa impermeables?

§ 4. 27

Mientras los materiales aislantes se calientan bajo la acción del campo eléctrico, las corrientes de Foucault surgen a causa de los campos magnéticos. Para la obtención de estos campos los potentes generadores producen corriente saltaron las que circulan por los otros lamentos de normas bovina que envuelven el horno de inducción. En estos hornos pueden hundirse toneladas de material gracias a que la potencia de éstos alcanza miles de kilovatios.



La facultad del campo magnético de penetrar en el metal

permitió realizar la fundición en tampoco tiempo, que el metal nos llega a oxidarse, lo que mejora considerablemente su calidad.

§ 4.28

Frecuentemente se necesita incrementar la resistencia mecánica de las piezas de acero pertenecientes a los más variados aparatos y máquinas. Para esto se los puede someter al endurecimiento mediante las frecuencias ultra elevadas (FUE). A estas frecuencias la corriente circula exclusivamente por la capa superficial del metal. La superficie del metal se encandece mientras que en el interior se mantiene frío y conserva su plasticidad. Actuando consecutivamente con agua y con la "llama de frecuencias ultra elevadas" se obtienen piezas de mejor calidad: gran dureza en el exterior y elasticidad en el interior.

§ 4.29

Y ahora unos ejemplos de "autoservicio": la utilización de los medios creados por la electrónica para sus propias necesidades. La soldadura del vidrio con el metal en el lugar de empalme del balón con el zócalo del tubo, se efectúa con la ayuda de campos de alta frecuencia.

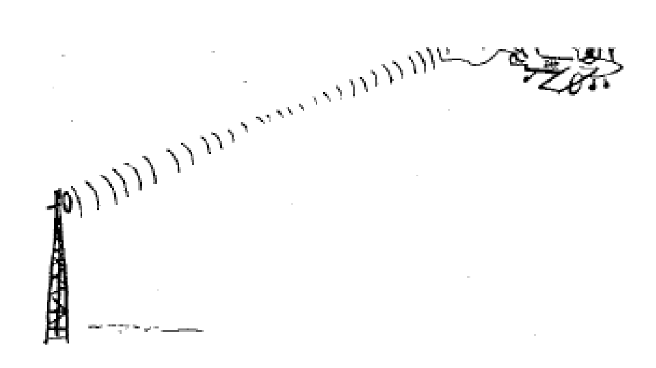


Para crear en el tubo un elevado grado de vacío se necesita extraer de las piezas el gas. Con este fin el tubo se coloca entre las espiras de la bobina. El campo calienta al rojo las piezas que se encuentran en el interior del balón, el gas se volatiliza y posteriormente es extraído del balón.

El silicio y el germanio puros para la producción de aparatos a semiconductores, se obtienen también con ayuda de la fusión de los cristales en vacío valiéndose de los campos de alta frecuencia.

Episodios de la guerra pasada

Hasta ahora hemos hablado solamente sobre las “profesiones" pacíficas del electrón. Sin embargo, es bien conocido que los impulses de las ondas centimétricas concentradas por la antena de radiolocalización en un haz estrecho dirigido, fueron en la guerra pasada un arma verdaderamente efectiva. No es casual que precisamente en los dispositivos militares de radiolocalización fue donde el magnetrón, el klistrón y el tubo de ondas progresivas se abrieron el “camino de la vida” y efectuaron el “bautismo de fuego”. Pero las estaciones de radiolocalización representaban un lado de la cuestión. Y el segundo...



En una de las oscuras noches de febrero del año 1942, dos buques de línea alemanes “Scharnhorst” y “Gneisenau” y el crucero “Príncipe Eugen" zarparon de Brest, bloqueado por los barcos de la flota inglesa y pasaron por el Canal de la Mancha. Ninguno de los cientos de radares ingleses pudo detectar estos barcos: las pantallas de los radares fueron “cegadas” por las estaciones antirradar alemanas.

Así comenzó la gran batalla entre los medios electrónicos, que no cesó en todo el curso de la guerra mundial. Han pasado dos décadas desde el día que terminó esta guerra, pero los cuadros de los grandiosos combates siguen hasta hoy día vivos en la memoria de los contemporáneos. Incluso aquellos que no participaron en ellos conocen la amplitud y la ferocidad de estos combates por los filmes, la literatura y por las narraciones de los veteranos de la guerra.

Sin embargo, incluso al participante le ha quedado una imagen poco nítida de otro tipo de combates: la pugna oculta pero continúa entre los electrones y las ondas.

Evidentemente, el éxito de la mayoría de las operaciones en gran parte dependía de la correcta utilización de los medios de la técnica electrónica. He aquí algunos episodios.

Para guiar a sus bombarderos hacia las ciudades de la Gran Bretaña, los alemanes instalaron en el territorio ocupado de Bélgica, Holanda y Francia radiofaros especiales.

En el estrecho, el faro ayudaba al piloto alemán a mantener exactamente el curso precisado. Los intentos para suprimir estas señales no dieron resultado: en cuanto se perturbaba el funcionamiento de un faro, le suplía otro qua funcionaba con otra frecuencia. Entonces los ingleses escogieron otro método de reacción: construyeron en su territorio estaciones, que podían recibir y reflejar (retransmitir) la señal de los radiofaros alemanes. El "colorido" de la señal no se variaba, pero la dirección que le señalaban al piloto alemán con el haz estrecho de la estación retransmisora lo conducía a un objetivo falso. Sucedió incluso un caso cuando la señal falsa obligó a un piloto alemán a aterrizar en Inglaterra: al tomar tierra en el aeródromo de Devonshire. Hasta el último instante él estaba absolutamente convencido de que había regresado a Francia, a su propio aeródromo.

A veces la señal falsa obligaba a los alemanes a lanzar las bombas no sobre el objetivo, sino sobre un lugar desierto o sobre el Canal de la Mancha. En definitiva los pilotos alemanes dejaron de creer en los faros, tanto en los suyos como en los del enemigo.

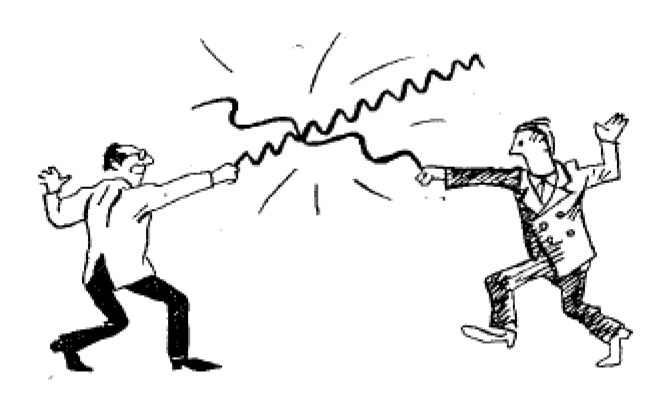
El mando alemán entonces recurre a una treta militar. Las radioemisoras alemanas comenzaron a transmitir a Inglaterra un texto propagandístico. Los habitantes de Londres muy pronto notaron una circunstancia rara. Toda vez, un poco antes de que llegaren los "huéspedes" de Alemania, la voz del locutor alemán comenzaba a sonar con más fuerza. Simultáneamente en los suburbios de Londres la voz se hacía apenas distinguible. De esta circunstancia se interesó la inteligencia, pero durante largo tiempo esta no pudo hallar explicación. Resultó que la propaganda en este caso era simplemente un camuflaje, el destino de la emisora era completamente otro. Esta conducía a los aviones de los alemanes hacia Londres. Para lograr esto, un poco antes de que los aviones despegaran, se modificaba el régimen de radiación: en vez de la antena ordinaria se conectaba una antena direccional y las

ondas salían dirigidas en forma de un haz estrecho. Este haz iba dirigido hacia Londres, por lo que en Londres la señal se amplificaba mientras que en sus suburbios desaparecía.

Cuando esta treta fue descubierta, la pugna contra ella se hizo Edell. De nuevo se utilizó la retransmisión y otra vez las bombas alemanas caían sobre el Canal de la Mancha.

Los electrones mantienen combate

Hace tiempo que cesaron el tronar de los cañones y los estallidos de los bombardeos aéreos. La humanidad lucha por conservar la paz. La guerra mundial ha terminado. Pero la guerra de los electrones continúa. Esta se lleva sin descanso, sin armisticio, sin ser declarada en el curso de muchos años. Los especialistas en electrónica no necesitan campos de batalla, "la pugna" la llevan en los laboratorios y talleres. La lucha va por la exactitud de los aparatos, por la fiabilidad y rapidez de acción y cada logro nuevo es una victoria más en "la guerra electrónica" ininterrumpida.



Los medios que utiliza la electrónica en esta guerra están distribuidos según sus armas. Existen medios de defensa y de ataque, hay medios de reconocimiento y haces de camuflaje. El haz de radio puede ser muy peligroso. Claro que él no lleva en sí la muerte, pero la presagia. Si se le permite "palpar" el espacio sin obstáculo, él dirigirá el proyectil o la bomba exactamente hacia el objetivo. De aquí se deduce: hay que luchar contra los haces.

¿Cómo?

Fueron hallados una multitud de medios. Se elaboraron materiales capaces de absorber las radio-ondas. Si el objetivo se encuentra tapado con semejante material la onda en el no se reflejare, el impulso no regresará al radiolocalizador o regresará tan atenuada que el objetivo no podrá ser distinguido en la pantalla.

Esta tarea puede ser resuelta de otro modo. Dejemos que los impulsos se reflejen, de todos modos, estos no podrán ser registrados, si con el impulso reflejados envía simultáneamente hacia el receptor de la estación una señal de interferencia más potente. Las frecuencias de las interferencias tienen que coincidir con la frecuencia de sintonización del receptor del adversario. Este, evidentemente, esta sintonizado en la frecuencia de los impulsos emitidos. Para determinar su sintonización hay que investigar la señal emitida. Por eso resulta necesario el reconocimiento: receptores de reconocimiento especiales captan, registran y analizan la señal radiada.

El radiocamuflaje dificulta el reconocimiento: de entre tantas señales camufladas emitidas con diferentes frecuencias, no siempre se logra detectar la peligrosa. Si la señal fuera descifrada, el adversario utilizará estaciones especiales que emitirán interferencias en el intervalo de las frecuencias de trabajo. Así y todo la estación puede funcionar normalmente con las interferencias, si se proveen medios especiales que posibiliten distinguir las señales propias de las interferencias ajenas. Modulando la señal con códigos especiales se pueden crear tales sistemas, capaces, en presencia de las perturbaciones del adversario, de detectar los objetivos, determinar sus coordenadas, apuntar las piezas de combate, dirigir un cohete, mantener la comunicación.

Así, en la interacción complicada de los aparatos y dispositivos electrónicos nace la táctica de la guerra electrónica.

Entre las múltiples especialidades del electrón, la especialidad militar juega en nuestro tiempo inquietante, por desgracia, un papel, lejos de ser el último. Y nosotros, las personas que aspiramos a la paz, no debemos olvidar esto, debemos tener bien presente el papel que deberá jugar el electrón en la causa de la defensa de nuestro país.

Un arma de dos filos

Resultaría imposible hacerse una imagen de un ejército contemporáneo que carezca de aparatos electrónicos. La electrónica constituye una parte inherente de su organismo, es más, es su sistema nervioso. Con la ayuda de la electrónica se realiza la comunicación entre las pequeñas unidades y con el Estado Mayor. Con su ayuda se detectan los objetivos del enemigo, ella asegura la precisión del disparo. Y aún más: aviones con piloto automático, tanques que combaten sin tanquistas, cohetes que cambian su trayectoria mandados desde la Tierra.

Sin la electrónica la lucha se hace imposible. Pero los diseñadores de la técnica militar contemporánea están siempre conscientes de que la electrónica es un arma de dos filos.

La mayor parte de los aparatos utilizados en el arte militar emiten ondas al espacio. ¿Dónde está la garantía de que el enemigo no utilice estas irradiaciones? El mando, transmitido por radio puede ser escuchado por el adversario. El código utilizado para conservar un secreto puede ser descifrado por el adversario. Para las irradiaciones de los sistemas de control de las estaciones de radiolocalización, se puede averiguar la dislocación de los cuerpos de ejército y sus propósitos. Conociendo el carácter de las señales, se puede crear perturbaciones en la gama de frecuencias de trabajo.

He aquí porque una rama de la electrónica se ocupa del diseño de aparatos designados para el reconocimiento. Capaces no solamente de detectar las señales, sino que también de registrarlas en una cinta, analizarlas, determinar su destino y su "colorido", investigar su composición espectral.

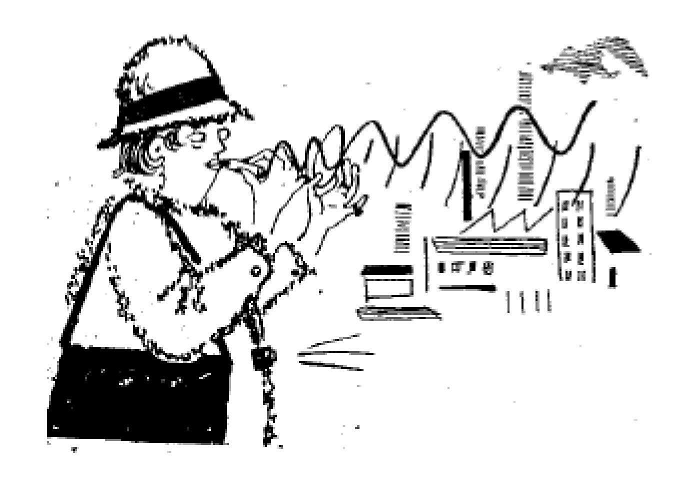
Es conocido, que los cohetes dirigidos por radio fueron usados por primera vez por la Alemania fascista en la guerra pasada.



Estos permitían a la base señales que servían para controlar la velocidad de la altura. Los aparatos de reconocimiento de los ingleses no solamente trataban estas señales sino que descifraba las prescripciones, con las que se guiaban los cohetes. Los especialistas ingleses crearon aparatos para la irradiación de señales falsas que obligaban a los cohetes a descender antes que alcanzaron el objetivo prefijado.

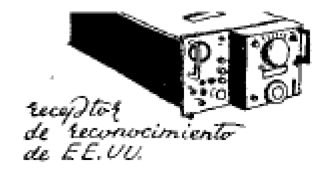
La radio reacción resultó ser tan ejecutiva que los alemanes se vieron obligados a rehusar la radio conducción y apoyarse en el giroscopio.

Del grado de conocimiento que se tenga sobre los medios radiotécnicos del ejército enemigo, dependerá, en una medida considerable, el final de la guerra. El mando militar de las fuerzas armadas de los Estados Unidos pretende, sin escatimar medios, descubrir las características de los aparatos y sistemas electrónicos con que están equipados los ejércitos de los países socialistas. Dos mil estaciones de radioescucha instaladas en los barcos, aviones y bases y ocho mil operadores que realizan el reconocimiento, mantiene actualmente el Consejo Nacional de Defensa de los EEUU.



Muchos, evidentemente, recordarán como los norteamericanos en su tiempo pretendieron llevar el reconocimiento con medios radiotécnicos instalados en globos. Hoy día los globos fueron sustituidos por los satélites artificiales. En los últimos años una serie de firmas norteamericanas, incluyendo la poderosa "GENERAL ELECTRIC CO." se especializan en la rama de aparatos diminutos, que permiten realizar el espionaje. ¿Qué no hay en sus listas de pedidos?

Cámaras de televisión y magnetófonos diminutos que pueden ser ocultos en los muebles, cuadros y paredes. Receptores de escucha introducidos en un tubo de pintura para los labios, en un estuche de reloj. Se crearon micrófonos en forma de lámina que pasan fácilmente por debajo de una puerta.



Estos artículos gozan de una gran demanda: con ellos se equipan los agentes estatales enviados al interior de territorios ajenos, como también los agentes de los servicios secretos e individuos que realizan la vigilancia y el espionaje entre los ciudadanos de su propio país. Reconociendo que "el segundo filo del arma" puede en cualquier momento herir a los mismos que recurren a estos aparatos, la firma "Kliftron" colocó al fin de la lista de las novedades elaboradas por ella una nota elocuente: ¡Tengan cuidado! En muchos países del mundo rigen leyes que prohíben el uso de algunos de los aparatos antes mencionados. Es cuidado del comprador (y no del vendedor) cerciorarse con ayuda del jurista de la aplicación de estas leyes en relación con el uso de cada uno de los artículos adquiridos".

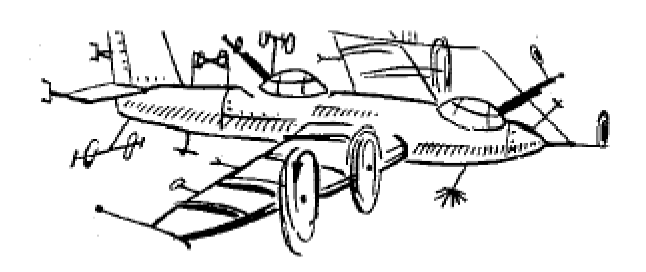
"Tengan cuidado"... La advertencia viene muy bien al caso. Desgraciadamente, esta no fue atendida por aquellos que equiparon con los medios más modernos de la

técnica el avión "Lockhead U-2”, en el que el primero de mayo del año 1960 Francis G. Powers, realizó un vuelo ilegítimo, al violar la frontera estatal de la URSS. Su avión llevada a bordo transmisores especiales que emitían interferencias, un receptor multicanal de reconocimiento en todas las bandas de radio-ondas “corrientes” (de 2,5 centímetros hasta 1 metro). Antenas apareadas permitían determinar exactamente el lugar de donde venía la señal. Todas las señales eran registradas en cintas magnéticas con la esperanza de que posteriormente por las grabaciones descifradas se podría comprender la designación de todas las señales y determinar las gamas de la frecuencia de trabajo.

Afortunadamente las esperanzas de la inteligencia americana no fueron confirmadas: se debía saber que un vuelo sobre el territorio ajeno con el fin de espionaje también es un arma de dos filos.

Señales contra señales

La entrada del receptor de una estación de radiodetección es una especie de garganta. La antena del receptor se asemeja a una boca abierta. Si la frecuencia de la interferencia se encuentra en la banda de sintonización de la antena, el receptor se “tragará" con igual apetito la señal suya y la ajena. Y la estación se “atragantará” si la interferencia es mucho más potente que el impulso propio reflejado.

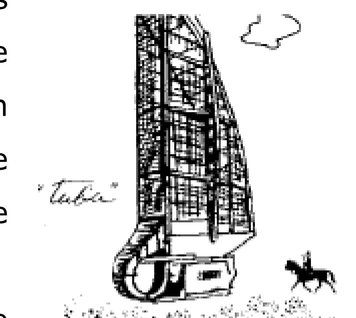


La supresión de las estaciones radiodetectoras del adversario por medio de una potente perturbación fue muy usada en la guerra pasada.

Para la defensa de la ciudad de Bzema de los ataques de los bombarderos, los alemanes se valían de baterías antiaéreas dirigidas por las estaciones de puntería de las piezas de artillería (EAC) tipo "Wurtzburgo”.

El servicio de inteligencia de los aliados estableció que la frecuencia portadora de estas estaciones era igual a 560 megahertzios. En el verano del año 1943 los bombarderos del 8º ejército aéreo norteamericano fueron dotados de transmisores tipo “carpet”. Los transmisores irradiaban una perturbación que consistía en un espectro de frecuencia media de 560 megahertzios. En octubre del año 1943 se hizo el primer recuento: habían sido derribados dos veces menos aviones equipados con “Carpet” que los que no lo llevaban.

Las interferencias representan un método muy efectivo. Si la radio desempeña el papel de sistema nervioso del ejército, las interferencias son un medio capaz de paralizar casi por completo este sistema. Después de que esto se hizo evidente, los ejércitos aliados utilizaron en la guerra pasada los medios más variados de contra-acción. Sobre la base de la "fortaleza volante" B-29 los norteamericanos crearon un "agregado" de perturbaciones de toda clase. A bordo de la “fortaleza volante" se encontraban 18 transmisores, receptores de reconocimiento y hubo que instalar tantas antenas que el avión se “erizó" por lo que recibió el nombre de “puerco espín”.



Más, no existe ningún método en la electrónica contra el que no se pueda encontrar nuevos medios de defensa.

Los dos filos de la espada es un caso bastante trivial. Se pueden recordar historias con multitud de diferentes filos. El primer filo de una de semejantes historias, fue la instalación en los aviones de caza alemanes de estaciones radiodetectoras que realizaban la puntería y la interceptación. El segundo filo de la espada fue aprovechado por los ingleses inmediatamente: al poco tiempo estos captaron las señales y determinaron la gama de sus frecuencias. En esto apareció un tercer filo: los bombarderos ingleses fueron equipados de estaciones antirradar.

¿Uds. piensan que con esto se agotaron los "filos"? ¡Ni por esas! Los pilotos alemanes se adiestraron a guiar sus cazas por las señales perturbadoras, como si fueran radiofaros.

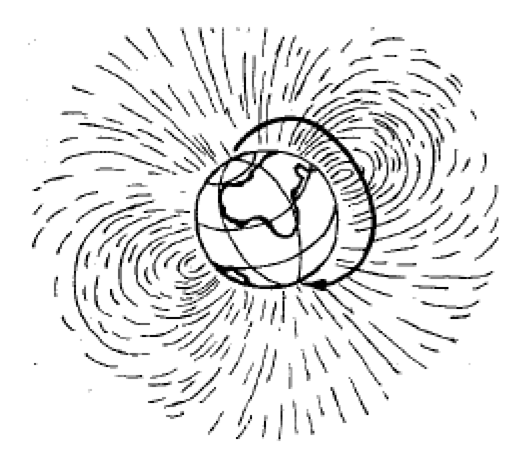
Otra vez la balanza se inclinó a favor de los cazas y de nuevo fue encontrado un medio de lucha.

Puesto que las interferencias irradiadas desde el bombardero ayudan al adversario, es necesario irradiarlas desde la Tierra. A lo largo del litoral sur de Inglaterra se instalaron los enormes transmisores americanos “Tuba”. Como consecuencia de sus potentes señales los cazas de los alemanes quedaban “ciegos” ya en Europa, mientras que los bombarderos ingleses, libres de sus perseguidores, regresaban tranquilamente a su casa a través del Canal de la Mancha.

En las condiciones actuales la efectividad de las interferencias es tal, que se hizo muy difícil encontrarle el tercer filo a la espada.

En agosto del alto 1958 una explosión efectuada por los norteamericanos en la isla Johnston, interrumpió la comunicación entre Japón y California en la banda de 5 a 25 megahertzios. La comunicación se restableció solamente después de transcurrir 18 horas.

La explosión nuclear crea una cantidad enorme de electrones en forma de partículas beta rápidas. En el campo magnético de la Tierra los electrones se comportan igual que en el campo de la lente magnética: estos “entran en espiral” y se desplazan a lo largo de las líneas de las fuerzas magnéticas. (Vea en el Capítulo III la sección “Ejercicios de acrobacia aérea”).



Conociendo la estructura del campo magnético de la Tierra, es posible mandar a cualquier zona la enorme masa de partículas beta que surgieron con la explosión.

En manos de los hijos de la Tierra, actualmente se concentra una energía tal que, en comparación con ella, la Tierra se nos presenta como una pequeña y mansa anciana, bajo el velo transparente del campo magnético de los innumerables radio-ondas. La anciana se encuentra muy preocupada: ¿y, qué, si entretenidos con sus juegos peligrosos, sus hijos van más allá de lo permitido?

Un objetivo para distraer la atención

Con medios muy sencillos, a veces, se pueden lograr grandes efectos. Un método sencillo de reacción es la utilización de cuerpos reflectores, por ejemplo, laminilla de metal.

El avión lanza al espacio pedacitos de cinta metalizada y en las pantallas de los localizadores aparece un objetivo falso. "Los ojos de la artillería" comenzarán a seguir los objetivos falsos, tras ellos los cañones virarán automáticamente en sentido de los espejos de las antenas localizadoras.

Esto significa que el objetivo falso no solamente sirve para "distraer la atención”: junto con la atención “desvía” también el fuego. La laminilla pesa muy poco. Cada avión puede llevar a bordo una cantidad de ella que permita crear en las pantallas de los localizadores un ataque masivo falso.

¡Hasta 700 objetivos lograba crear un solo avión en los años de la guerra pasada! Vaya a saber cual de los 700 objetivos es el que hay que batir con el fuego. La sencillez de este método le ocasione gran popularidad: en las armas de guerra, sobre el territorio de la Alemania fascista, fueron lanzadas, ¡cerca de 20 mil toneladas de laminilla de metal!

Para conseguir una reflexión efectiva se usan reflectores angulares de las más distintas dimensiones y formas. En los años de guerra mediante estos reflectores “para distraer la atención" de las estaciones lanzabombas de abordo, fueron creadas “seudo ciudades” enteras. Se utilizaban redes especiales compuestas de semejantes reflectores. La red reflejaba la mayor parte de la energía y las estaciones de puntería, de las piezas de artillería automáticamente, dirigían los cañones hacia el objetivo falso. Un avión “pensaba con la red” los proyectiles del enemigo, dejando así el camino limpio para los demás.

Los medios de guerra electrónica fueron utilizados en gran escala en el verano del año 1944, cuando con el desembarco de las tropas aliadas en Normandía, se abrió el segundo frente.

Preparándose para enfrentar el desembarco, los alemanes concentraron en el litoral norte de Europa un número enorme de estaciones de detección que podían controlar todo el espacio circundante y cada palmo de tierra. Con el fuego de la artillería y de los ataques aéreos, los aliados destrozaron antes de comenzar el desembarco el

ochenta por ciento de las estaciones alemanas, y para la supresión de los medios restantes del enemigo se instalaron cerca de 700 estaciones perturbadoras.

Comenzó una grandiosa mistificación: sobre el Canal de la Mancha cruzaban los aviones de los aliados, creando con ayuda de reflectores y señales especiales objetivos falsos en muchos lugares. Desconcertados, los pilotos alemanes quedaron completamente agotados por la multitud de falsas alarmas.



Mediante un gran número de señales y objetivos falsos, durante más de cuatro horas, los aliados simularon el desplazamiento del desembarco en dirección a Boloña y, en fin de cuentas, obligaron a los alemanes a concentrar todas sus fuerzas en las regiones de Boloña y Calé. En esto, las tropas de los aliados desembarcaron en Normandía, donde la resistencia de los alemanes había sido tan debilitada que de 2127 barcos que tomaron parte en el desembarco los alemanes pudieron hundir solamente 6.

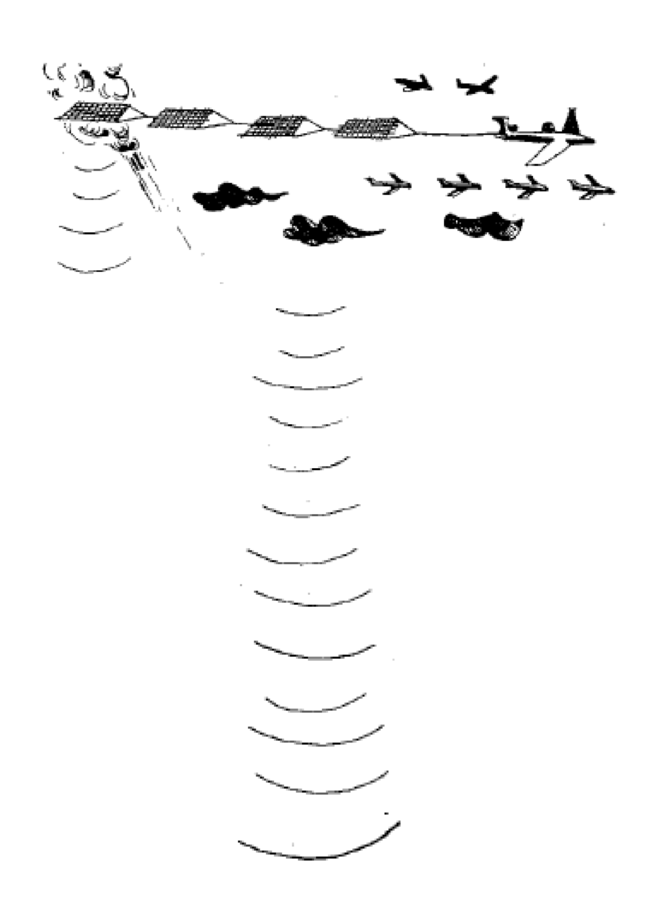
Los cohetes y la electrónica

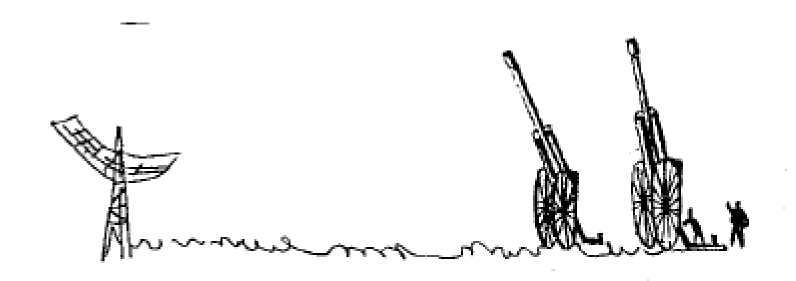
En los años que sucedieron a la derrota de la Alemania fascista, el progreso tecnológico hizo un salto enorme. Si la electrónica militar se empleaba antes en la

tierra, en barcos y aviones, ahora ésta debe crear también instrumento para diversos tipos de cohetes.

Dichos aparatos deben ser compactos y de poco peso puesto que el volumen de los cohetes es limitado, y un peso excesivo de los aparatos reduciría varias veces la distancia de vuelo del cohete.

Además, los aparatos deben ser especialmente resistentes: la sobrecarga durante el despegue no deben inutilizar a ningún elemento. La precisión de las mediciones y la rapidez de la elaboración de los datos obtenidos, se plantean aquí con especial agudeza a causa de las enormes velocidades que desarrollan los cohetes. A veces no es tan fácil lograr que el aparato combine todas estas cualidades. Sin embargo, la electrónica en los últimos años puso a disposición de los diseñadores de estos aparatos, numerosas y magníficas soluciones nuevas.



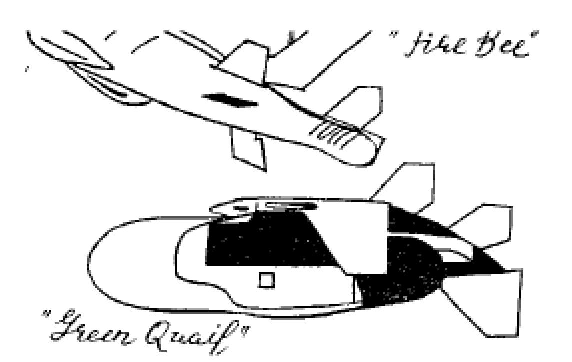


Mientras que en la última guerra se emplearon fundamentalmente aparatos de válvulas, hoy en día casi toda la técnica de guerra se construye a base de semiconductores. También en especial se lograron éxitos notables en la solución de los problemas de esquemas lógicos de cómputo y mando.

En la creación de nuevos tipos de cohetes se aprovechan los más modernos adelantos, pero, a la par, las experiencias acumuladas. La vieja táctica adquiere hoy formas nuevas. Por ejemplo, para provocar interferencia en las estaciones terrestres y crear objetivos falsos se recurre a los propios cohetes. El ejército norteamericano, por ejemplo, cuenta con dos cohetes para cumplir misiones de esa índole "Green Quail" ("Codorniz verde") y "Fire Bee" ("Abeja de Fuego").

Se lanzan estos desde aviones y son guiados por radio o por dispositivos programados a bordo. Al tomar la delantera al avión que los lanzó, anegan las estaciones emitiendo interferencias, y en caso de necesidad, pueden servir de objetivo falso tomando sobre sí el fuego. Cumplida la misión, estos cohetes "se suicidan", explotan para mantener en secreto todo aquello que se lleva a bordo. -

La técnica moderna aprovecha también objetivos falsos de radiolocalización para asegurar la misión de los cohetes balísticos intercontinentales. En particular, en los EEUU se está estudiando la manera de proteger la ojiva de combate del cohete por una nube de fragmentos metálicos que sirven de objetivo falso.



¿Pero de qué modo los fragmentos podrían enviarse al espacio?

¿En el mismo cohete? Sería un error, pues cada gramo puesto en trayectoria resulta sumamente caro.

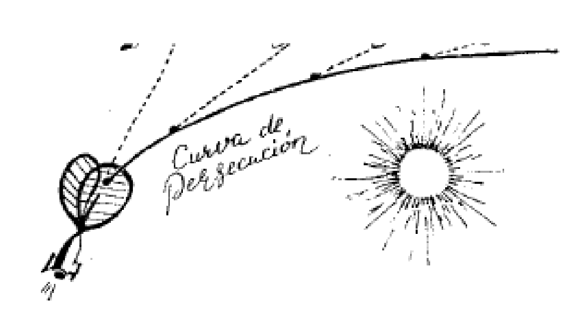
La solución es muy sencilla. Al poner la ojiva

de combate en la trayectoria, el cohete portador jugó su papel fundamental. Ahora puede usarse como objetivo falso. Después de que la ojiva es puesta en su trayectoria y se separa del cohete portador, este explota formando una novela de fragmentos. La atmósfera está muy rarificada a grandes alturas, por lo que los fragmentos acompañan al cohete moviendo sea la misma velocidad. La noble alcanza dimensiones de cientos de kilómetros cuadrados. La diminuta cabeza se pierde prácticamente dentro de esa enorme nube dificultando su detección por las estaciones de radiolocalización.

Durante la Segunda Guerra Mundial ya se empezaron a usar cohetes y torpedos autodirigidos. En la hojita del proyectil se instalaban dos antenas que emitían señales bajo cierto ángulo. Mientras el proyectil va directamente hacia el objetivo la señales de las antenas son idénticas. En cuanto sería un poco surge una diferencia de señales, por la que el dispositivo automático vuelve a orientar al proyectil hacia el objetivo. A fin de cuentas, al proyectil vuela por una trayectoria denominada "curva de persecución". Los cazadores saben que de la misma manera el lobo persigue a la liebre: mientras la víctima no nota el peligro corre en dirección recta, pero una vez enterada de la persecución, empieza a zigzaguear. El lobo, lo mismo que un proyectil con ojivas electrónica, mira siempre al objetivo.

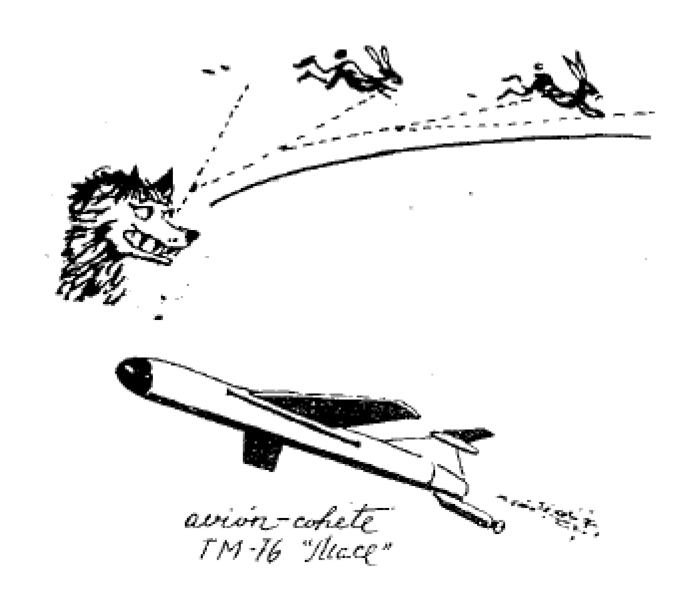
Norbert Winer, fundador de la cibernética, solía contar tal episodio. Cierto día se hallaban el laboratorio del ministerio de defensa. Se encontraba solo en el local, pero le parecía que alguien le está observando incansablemente. Advirtió que la cabeza roma de un torpedo colgado de los soportes se dirigía hacia el lugar donde él se desplazaba. La sensación no era muy agradable. Parecía que a su lado en el cuarto vacío se ocultaba un cruel carnicero, provisto de una carga mortal en lugar de cerebro.

Verdad, que la carga sin cerebro no es lo peor. Cuando la cibernética comenzó a proveer los proyectiles, cohetes, torpedos de “cerebro artificial”, los carniceros se volvieron mucho más peligrosos y el contacto con ellos, mucho más horrible.



He aquí una novedad similar.

El avión-cohete "Matador" (EEUU) va dotado de un sistema de guiado tipo “Atran” protegido contra las interferencias. Es curioso el principio de su funcionamiento. En su “memoria” va introducido previamente un mapa. Con ayuda de dispositivos panorámicos de localización se toman fotografías del terreno sobrevolado. El esquema electrónico compara los dos mapas, confronta los puntos de referencias fundamentales y, al hacer las correcciones, las transmite al autopiloto. El avión-cohete de semejante dispositivo no pudo ser desviado del rumbo durante las pruebas por seis estaciones de interferencias. Se comporta como una persona con memoria ideal: si conoce el terreno no se pierde ante puntos falsos de referencia aislados.



Hoy día, la técnica de localización posee numerosas posibilidades nuevas.

¿Qué entrañan ondas más cortas aún? ¿Qué perspectivas se ofrecerán si las hacemos 100, 1000, 100.000 veces más cortas?

Verdad que esto, no es tan fácil de hacer. Magnetrones, klistrones, válvulas de onda móvil de diseño antiguo, todo este glorioso arsenal técnico de banda centimétrica no sirve para generar microondas. No es sorprendente que durante casi veinte años las ondas centimétricas y las frecuencias no mayores de 10.000 megahertzios tras el límite de la electrónica.

Mas la ciencia y la técnica nunca permanecen estancadas: han sido descubiertos los láseres y la técnica hizo (¡por que vez!) un nuevo salto gigantesco por la escala de

las frecuencias ¿Recuerdan? Hemos comenzado este capítulo con las palabras siguientes: la historia de la electrónica es la historia de como se han ido acortando las ondas.

§ 4.30

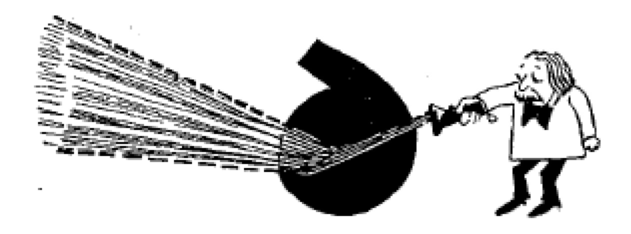
En los últimos años, para la localización y la técnica de comunicaciones, se presentaron nuevas posibilidades como resultado de la puesta en servicio de la gama luminosa, en la que las longitudes de las ondas constituyen fracciones de micrón.

¿Cómo se generan las ondas micrónicas?

Hemos visto que en los generadores de las gamas de ondas decimétricas y centimétricas, a lo largo del circuito tridimensional, debe ser ubicada una parte determinada de la onda estacionaria (véase § 4.13). Esto significa que la longitud geométrica del resonador deberá ser mayor que la de las ondas irradiadas.

Si queremos obtener, mediante un circuito tridimensional ondas 1000 veces más cortas que las milimétricas tendremos que construir un circuito que puede ser visto solamente bajo el microscopio. Una tarea prácticamente irrealizable. Por suerte, la naturaleza nos concedió otra posibilidad. Ella posee resonadores acabados “sintonizados” en ondas muy cortas. Tales resonadores son los átomos de las distintas sustancias.

§ 4.31



En condiciones habituales los átomos de los gases y cristales absorben la energía luminosa.

En el año 1916 Einstein estableció teóricamente que con la ayuda de la luz es posible llevar a estos mismos átomos a un estado de excitación, y estos empezarán a irradiar ondas luminosas con otra frecuencia.

Surge una "inducción luminosa" original: algo así como si los átomos de los gases o cristales comenzaran amplificar la luz incidente en ellos.

En el año 1940 el físico soviético V. Fabricant describió los experimentos en los cuales se logró obtener una intensidad de la luz y radiada superior a la de los pases incidentes. En el año 1951 a V. Fabricant, F. Butáiev y M. Vudynskaya se les concedió el certificado de autor por "El método de amplificación de las irradiaciones electromagnéticas (de las ondas ultravioletas, visibles, infrarrojas y radioeléctricas)".

En el año 1954 N. Básov y A. Prójorov crearon en la Unión Soviética el primer generador cuántico.

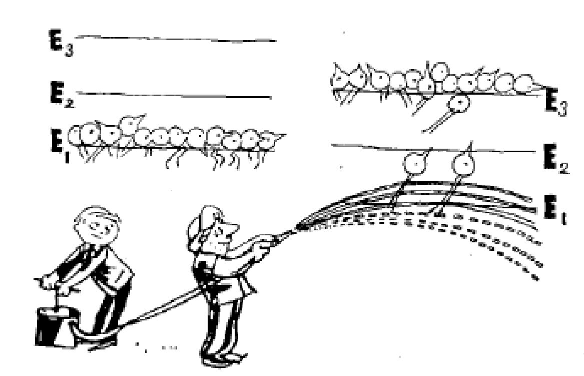
§ 4.32

Los fundamentos de los generadores cuánticos son los procesos de absorción e irradiación de las partículas de luz, fotones (de aquí que esta mina fue denominada fotónica.)

El fotón es un cuanto (porción mínima) de energía luminosa. Además del fotón, en la naturaleza existen otros cuantos: cuanto del campo electromagnético invisible (es decir, de las ondas radioeléctricas), cuanto de energía acústica (se denomina fotón), cuanto del campo de gravedad (denominado gravitón), cuanto del campo nuclear (mesón).

§ 4.33

Si el átomo absorbe un fotón, la energía del átomo se incrementara: uno de sus electrones pasa de la órbita normal, en la cual él poseía una energía E, a la órbita superior de la energía E3.

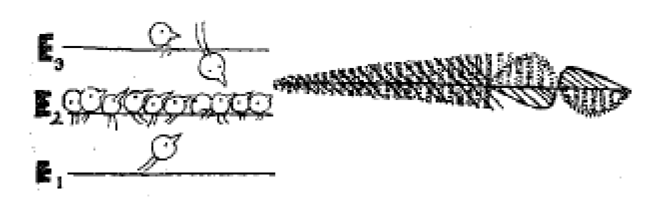


El fotón absorbido por el átomo, portaba en sí tanta energía, cuanto necesita el átomo para subir el escalón de E1, a E3.

La frecuencia de la señal de excitación, compuesta de estos mismos fotones, se determina mediante el citado escalón: cuanto más alto es el "escalón" (E1 - E3) tanto mayor deberá ser la frecuencia.

§ 4.34

A diferencia del estado de estabilidad al que corresponde el nivel E, el estado de excitación es inestable: los átomos pasan fácilmente del nivel E3 a otro nivel más estable, por ejemplo, al Es (más exacto, sus electrones "saltan" de las órbitas superiores, correspondientes al nivel de energía E3, a las inferiores). Al mismo tiempo, cada uno de los átomos irradiará un fotón y todos juntos crearán un flujo de energía electromagnética (irradiaran luz).

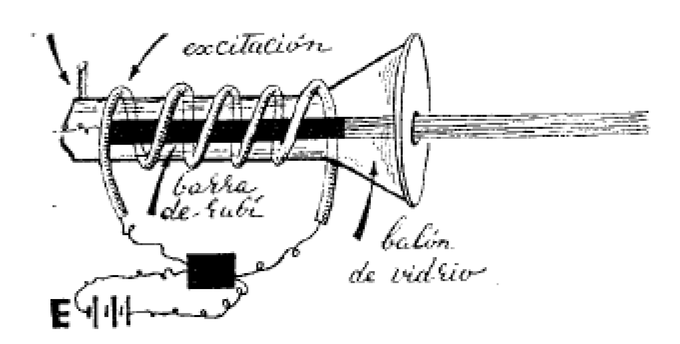


La irradiación se prolongara hasta que todos los electrones no hayan abandonado el nivel E3, o sea, no bajen el escalón E3 - E2. La excitación les obligará de nuevo a pasar a este nivel y seguidamente se producirá un impulso de luz irradiada. El tiempo consumido en la excitación es mucho mayor que el tiempo de irradiación.

Los impulsos emitidos por los láseres modernos suelen durar milésimas de segundo. En el largo transcurso de excitación los átomos excitados acumulan mucha energía, la cual posteriormente en milésimas de segundo se despoja del cristal como un haz recto y brillante.

§ 4.35

La frecuencia de irradiación del láser depende de la diferencia de los niveles E3 - E3, es decir, de aquel "escalón", al cual "bajo" el átomo que irradió un fotón (véase § 4.33). Y la frecuencia de la señal de excitación se determina por la diferencia E3 - E, (véase § 4.33).

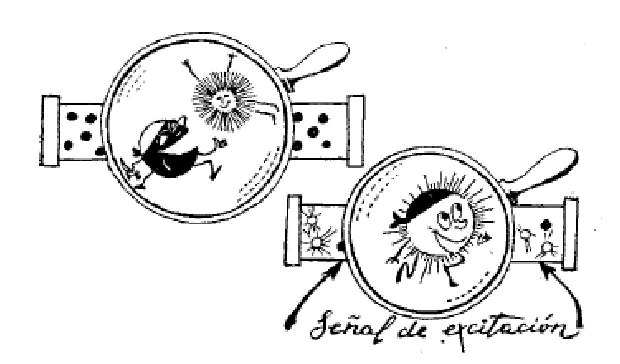


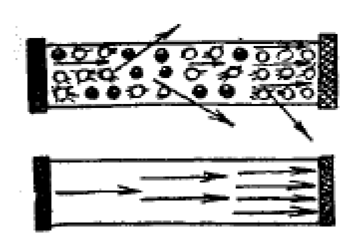
El láser (de barra de rubí) irradia luz de color rojo, y como señal de excitación sirve la luz verde corriente. La frecuencia del color rojo es inferior a la frecuencia del verde. Correspondientemente el escalón E3 - E2 es menor que el escalón E3 – E1. A diferencia de un circuito corriente, cuyas dimensiones pueden variar con el tiempo debido a las condiciones extrínsecas, el "circuito átomo" o el "circuito-molécula" poseen una extraordinaria estabilidad.

Si utilizamos la frecuencia de sus oscilaciones para la medición del tiempo, resultaría que la divergencia de este reloj con la de un reloj astronómico, no sería superior de un segundo en el transcurso de... 3 mil años.

§ 4.36

Antes de transmitir la señal de excitación, todos los átomos de cromo en la barra de rubí se encontraban en el "escalón" inferior, es decir, en estado estable (en nuestro dibujo convencional a esta condición le corresponde el color negro). La señal de excitación suministro a la Barra de rubí fotones y excitando sus átomos los trasladó al nivel E3 (al estado de excitación de los átomos, en nuestro dibujo, le corresponde el color azul).





§ 4.37

El átomo excitado puede, en cualquier memento, emitir un fotón. Este fotón alcanzará a otro átomo excitado y "empujándole" hacia el nivel E2, arrastra consigo un nuevo fotón. Dos fotones, en el acto, se convertirán en cuatro, cuatro en ocho, etc. Surge una "avalancha" de fotones, donde todos los fotones "marchan al paso" en la misma: fase y con la misma frecuencia.

Algunos de los fotones pueden desviarse del eje de la barra (en el dibujo su recorrido esta señalado con flechas). Estos abandonarán rápidamente los límites del cristal, sin encontrar átomos por el camino. Por el contrario, los fotones que se mueven en dirección del eje, constantemente encontrarán por el camino nuevos átomos excitados, cada vez los harán volver a su estado estable, arrastrando por el camino a nuevos fotones.

De esta manera, en la dirección, que coincide con la del eje del cristal, se crea un flujo fotónico potente.

§ 4.38



Esta avalancha rueda a lo largo de la barra de rubí haciéndose cada vez más potente a cuenta de los nuevos fotones arrastrados por el camino. Al alcanzar el espejo B, instalado en la copa derecha de la barra, el flujo se reflejará y se dirigirá en sentido contrario, continuando creciendo continuamente.

En el extremo izquierdo de la barra, el flujo de nuevo chocará contra el espejo A y, reflejándose, de nuevo se dirigirá al espejo B.

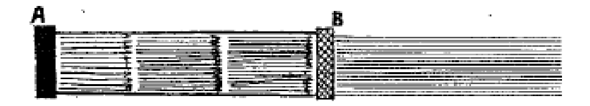
§ 4.39

A diferencia del espejo A, el espejo B posee cierta transparencia, pero el flujo inicial de fotones resultó ser demasiado débil para poderle "perforar". En cada nuevo

recorrido hacia uno y otro lado aumenta la potencia de la avalancha que, por fin, los fotones, ahora más fuertes, interrumpiendo en el espejo B semitransparente, atravesarán el espacio con una luz filiforme

§ 4.40

La luz irradiada por los láseres se distingue de la luz habitual, por ser excitada mediante una señal especial, por lo que todos los fotones en ella parecen "marchar al paso" con una misma fase e igual frecuencia.



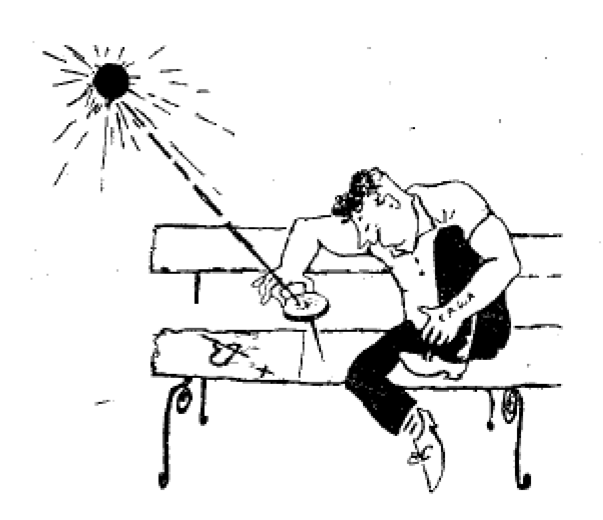
En esto consiste el valor principal de las ondas originadas por la fotónica: la luz ordinaria "corre" en distintas direcciones, mientras que la luz del láser se dirige en una sola dirección en forma de haz recto y uniforme.



Un láser equipado de una lente telescópica especial puede "producir" sobre la Luna un rayo de 3 kilómetros de diámetro solamente. Mientras que el haz de un reflector corriente a esta distancia resultaría tan ancho que en él cabrían 11 discos como la Luna.

Desde que fue creado hiperboloide

Aproximadamente 40 años atrás, en las páginas de la novela de ciencia-ficción de Alexei Tolstoi, apareció el lindo nombre hiperboloide. El inventor del hiperboloide Garin obtuvo un rayo luminoso de una potencia extraordinaria y decidió con su ayuda conquistar el mundo entero.



Todos tuvimos en la infancia nuestro pequeño “hiperboloide", o sea, una lupa corriente. Su rayo no poseía una fuerza tan fantástica, pero, en principio, esta cumplía la misma función que el dispositivo creado por Garin: los rayos solares concentrándose en un diminuto “haz", podían dejar su huella en un árbol, en un banco o una quemadura en la mano. Pero aparecen los láseres y la fantástica idea de Tolstoi encuentra una posición real. El "rayo" que surge en aquel lugar, a donde fue dirigido el haz de láser, encierra en sí un peligro muy serio: el punto del rayón esta alumbrado de tal modo, como si lo alumbrasen miles de soles. Bajo su influencia se evapora el metal y una placa de grafito se encandece hasta 8000 grados durante 5 milésimas partes de segundo.

Los creadores de los láseres al principio introdujeron un método original para evaluar la potencia del rayo y el grado de su “concentrabilidad”. Ellos median estas magnitudes por la cantidad de cuchillas habituales de afeitar. Si dirigimos un rayo sobre una cuchilla se forma un agujerito. El láser es capaz de quemar de una vez varias cuchillas, y a veces decenas de ellas. ¿Por qué no es un hiperboloide? ¡Pocos se atreverían a cerrarle el paso a un rayo como éste!

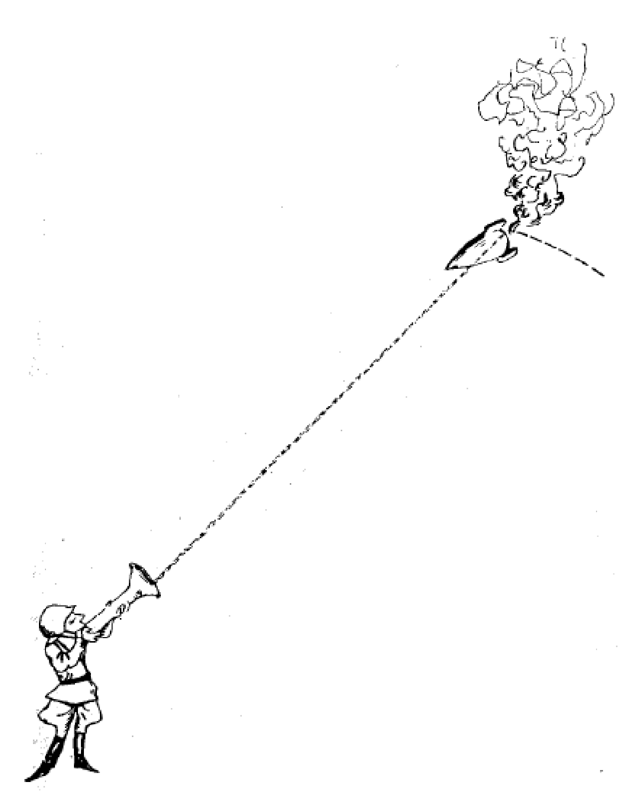
¿Pero, por qué el láser resultó ser precisamente el hiperboloide? Este "dispara" con fotones, o sea con luz visible corriente. Sí, pero además del láser existen otras fuentes de luz. ¿Por qué no podríamos utilizarlas para estos mismos fines?

A diferencia de la luz que emite el láser, la luz habitual posee un espectro de frecuencias muy amplio. Dicho de otro modo, esta se forma de ondas de diferente longitud. Supongamos que alguien tira a un lago muchas piedras distintas. Entre ellas hay grandes y pequeñas, estas producen ondas de diferente longitud que se juntan unas a otras. Pero en vez de una sucesión regular de las crestas y cavidades en la superficie del lago, se forma una marejada compleja.

No se logra formar rayos dirigidos de la luz corriente, ya que las ondas de esta luz influyen una sobre otra de diferente manera: a veces coinciden las crestas, otras veces las crestas y cavidades. Se obtiene un cuadro más complicado que en la superficie del lago, al cual echaron muchas piedras diferentes. Es por esto, que los especialistas a la luz irradiada por el láser la denominan señal y a la luz habitual, por ejemplo, de una lámpara eléctrica, desde su punto de vista, no es más que ruido. Claro, ¡qué nadie ha oído como hace ruido una lámpara! No obstante, se la puede considerar como un generador de ruido, porque desde el punto de vista de un especialista, el ruido es toda señal con amplitudes casuales y un amplio espectro de frecuencias. (Sobre el espectro y su descomposición véase el apartado "Los impulsos y Pinocho" del Capítulo IV).

El filamento de la lámpara eléctrica, se calienta por la corriente al blanco. Los átomos excitados del filamento se encuentran a diferentes niveles energéticos. Deslizándose de los "escalones" superiores a los inferiores, estos irradian una gran cantidad de fotones. Pero ya que los escalones son diferentes, cada átomo irradia su frecuencia. Y juntos, estos crean un amplio espectro de radiación, una gran cantidad de diferentes frecuencias.

El sol también es un generador de ruido. Cada centímetro cuadrado de su superficie transmite a la Tierra una señal de una potencia de cerca de 7 kilovatios. Pero si queremos separar mediante un filtro una banda de frecuencias de un megahertzio, entonces de los 7 kilovatios, a la salida del filtro quedarán sólo 0,00001 W, la potencia disminuir a 700 millones de veces.



Esto significa, que a la banda de un MHz le corresponde sólo $1/700^6$ parte de energía y la restante, se la llevaron las otras frecuencias del espectro, las otras múltiples ondas que forman la luz solar.

Mediante un prisma, en el cual se refractan directamente estas ondas, se puede crear "una imagen del sol en color", o sea, separar de la luz blanca los colores rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul celeste, azul y violeta.

Empero el rayo láser es de un solo color. Este está compuesto de ondas de una sola longitud. En esto consiste su principal valor: el posee divertida, sus ondas no se está recién y no se abogan unas a las otras, sino que van en una misma dirección en forma de un haz fino.

Utilizando el enfoque puede producirse un rayo láser aún más agudo. Para esto no se necesitan grandes reflectores o lentes. La longitud de las ondas luminosas constituye 10 milésimas partes de milímetro (de 0.4 a 0.7 de micrón). Hasta una pequeña lentes tienen mucha más longitud que las ondas irradiadas.

Creando un rayo dirigido mediante el láser y utilizando el enfoque, puede “dispararse con luz” sobre cualquier objeto a distancia.

La luz del láser se irradia en ráfagas muy cortas, que duran milésimas de segundo. Durante la ráfaga se irradia una potencia que se mide por miles de vatios. La Agencia Associated Press ya comunicó que en Norteamérica comenzaron a crear un generador, capaz de abatir un avión en vuelo u otro objetivo a la distancia de dos kilómetros. Y en el cosmos este mismo rayo podrá actuar a una distancia de cientos de kilómetros, ya que allí no hay atmósfera que debilite los rayos luminosos. El peso y tamaño de este generador serán bastante considerables. Si Garin llevaba su dispositivo en una maleta, el aparato proyectado por los norteamericanos pesará alrededor de 14 toneladas.

¿Y que láseres aparecerán dentro de veinte años? Estos serán evidentemente, más livianos y efectivos. ¿Y será posible dirigir el "rayo" a un cohete y abrirle un agujero? Si a tan tremenda velocidad es suficiente solo un pequeño agujero, para que el cohete, perdiendo el mando, pique hacia la Tierra. Este problema no será fácil de resolver.

Para que el "rayo" abra un agujero, el rayo debe estar acordado rígidamente con el cohete en vuelo veloz. Para esto es necesario reajustar instantáneamente el enfoque, siguiendo la trayectoria de vuelo del cohete.

¿Cómo debe ser el "rayo"? El científico alemán Tirring hizo el siguiente cálculo. Para fundir el cuerpo de un cohete en un minuto es necesaria una potencia de cerca de 800 kilovatios. Aún en caso que el ángulo, en el que se desvía el rayo enfocado, constituye un minuto angular (para comparar, digamos, que el disco del Sol ascendente se ve bajo un ángulo de 10 minutos), a la altura de 50 kilómetros el "rayo" resultará más ancho, que el área de la sección de la parte delantera del cohete, aproximadamente 200 veces. Al cohete Regard solo 1/200 parte de la energía del láser, o sea, durante un minuto la potencia de irradiación del láser debe ser:

800 X 200 =160.000 kilovatios.

La potencia de emisión de un láser moderno constituye por termino medio solo milivatios. La conclusión es poco consoladora: para que el rayo pueda abatir al cohete es necesario elevar la potencia de los láseres más de 100 millones de veces. El cálculo simple, pero convincente, es poco probable que en un futuro próximo se consiga crear un "hiperboloide", que pueda ser un medio efectivo contra los cohetes.

¿Cómo modular la luz?

¡Sería muy interesante el poder convertir un rayo de láser dirigido en una señal portadora! Se podrían transmitir 30 millones de programas de televisión en señales luminosas portadoras.

Sin embargo, para la transmisión de cualquier información mediante el láser todavía hay que aprender a “llevar los dibujos al cañamazo": impulsos del código, cuadros de televisión y el espectro de las frecuencias vocales.
Aquí es donde surgen las dificultades. En efecto, ¿cómo modular la luz? “Los espejos oblicuos” de la electrónica no resuelven esta cuestión: el fundamento de los “espejos" es la influencia del campo de la rejilla de mando sobre el flujo electrónico. ¿Y cómo influir sobre los fotones? Si estos no tienen carga, o sea, que cualquier campo los tiene sin preocupación. ¿Cómo salir de esta embarazosa situación?
Prestando atención a los diferentes casos de influencia del campo sobre las propiedades ópticas de la materia, los físicos rápidamente encontraron la solución correcta.
He aquí la cadena de sus razonamientos y acciones. Los sonidos, los impulsos y la imagen se transforman en corriente eléctrica. La corriente crea un campo. El campo influye sobre el cristal, provocando el cambio de sus propiedades ópticas. Pero, el haz de láser puede atravesar el cristal o ser reflejado por este. O sea, si se influye sobre el cristal por medio de un campo alterno, el rayo cambiara su intensidad y en la señal portadora del láser aparece el “dibujo” necesario. Aquí “el espejo oblicuo" ya no es simplemente una imagen artística, en efecto, la luz necesita para modularse espejos reales. Estos, evidentemente, deben ser “oblicuos”; bajo la influencia del campo ellos desfiguran la luz.
Los físicos conocen diferentes fenómenos (o, como a ellos les gusta expresarse, efectos), que permiten influir mediante el campo sobre la luz. Por ejemplo, el efecto Faraday, cuya esencia consiste en que bajo la influencia de los campos magnéticos, cambia la polarización de la luz. O el efecto Zeeman: bajo la influencia del campo exterior cambia el espectro del rayo luminoso que atraviesa el cristal. De este modo la señal del láser se modula según la frecuencia. Tenemos también el efecto Kerr (la refracción de los rayos y la alteración de la polarización bajo la acción del campo eléctrico) (Con la noción de polarización el lector se encontró en el Capítulo III (véase § 3. 18)), el cual permite realizar la modulación de las señales luminosas portadoras, transformando las señales moduladoras en campos eléctricos alternos.

La luz puede modularse con el sonido. En este caso las ondas del sonido deformaran la red cristalina y cambiaran con esto las propiedades ópticas del medio por el que se propaga la luz.

Por fin, en el mismo láser puede cambiarse la intensidad de alimentación y de este modo influir en determinados límites sobre la intensidad de la señal luminosa y sobre su frecuencia.

La señal modulada del láser llega al receptor. Como es conocido, en este es necesario realizar la detección, o sea separar el "dibujo" del "cañamazo". Esto puede realizarse utilizando el efecto fotoeléctrico en el cual la corriente del fotoelemento depende del brillo de la iluminación. La detección se reduce a un simple fenómeno: el rayo modulado cambia su intensidad, y en el circuito del fotoelemento cambia la corriente.

El mismo efecto se utiliza para transformar la frecuencia de la señal luminosa. La señal del láser-transmisor se mezcla en el fotoelemento con la señal del láser del heterodino (El papel que desempeña el heterodino fue descrito en el Capítulo "Electrones, ondas y campos". (Parte "El reino de los espejos oblicuos"), y en la salida se destaca la frecuencia diferencial. La parte restante del esquema no se diferencia del esquema de los receptores habituales superheterodinos (Véase el esquema en la página 140), porque como resultado de la transformación, la frecuencia de la señal luminosa desciende hasta la frecuencia de radio.

Los trabajos relacionados con la modulación y detección de la señal luminosa, ahora se realizan intensivamente. Los físicos realizan experimentos y confrontan los resultados. Se valía la utilidad de los métodos descritos para diferentes señales y frecuencias moduladoras. Los científicos, todavía tienen una gran tarea a realizar sobre las cuestiones de la modulación de la luz, para, entre todos los efectos conocidos, encontrar el "efecto más efectivo" para los diferentes fines prácticos.

En el orden del día

...Llegó a la clínica un nuevo enfermo. La Roentgen mostró que era necesaria una intervención quirúrgica inmediata. El cirujano esta preparado para comenzar la operación, pero en sus manes no se ven instrumentos cortantes, ni punzantes, sino un instrumento insólito. Entonces, observa atentamente la placa de los Rayos X y

escrupulosamente determina la distancia desde la epidermis del enfermo hasta el objetivo quirúrgico, procediendo más tarde al ajuste del instrumento. Oprime un botón y un fino rayo de luz penetra en el cuerpo del enfermo.

La operación ha terminado, pero en el cuerpo del paciente no se ve ni una sola gota de sangre y en general ningún rastro de operación. El rayo penetró dentro del cuerpo sin deteriorar los tejidos, quemando solo el lugar a donde fue enfocado, precisamente el campo de operación. ¿Ciencia-ficción? Hasta el presente, sí. Pero en un futuro próximo, evidentemente, será una realidad.

En efecto, la potencia de radiación del láser puede regularse de modo tal, que todas las partes, excepto aquella hacia donde se enfoca el rayo, queden exentas de peligro. Este punto será semejante a la punta de una aguja aguda, además, con esta aguja no será necesario atravesar el cuerpo del enfermo; "el filo" inmediatamente se encontrará allí, donde es necesario cauterizar el tejido enfermo.

Experimentos semejantes ya se han realizado: mediante el haz de láser ya se ha conseguido "soldar" en el ojo la retina desprendida, sin dañar los tejidos sensibles de la pupila.

Las posibilidades que abre para la ciencia y la técnica el láser pueden ser motive de interminable discusión. El fotón resultó ser un peligroso rival del electrón, no solo en la localización y comunicación, sino también en el campo de la producción. Con la aparición del láser los metales y otros materiales se podrán tratar no solo con el haz electrónico, sino también con el fotónico. Además, el agudo haz de láser permitirá "detectar" las piezas microscópicas, obteniendo su imagen en una placa fotográfica, determinando con precisión sus dimensiones.

Pero esto no es suficiente: resulta, que bajo la acción de este haz las moléculas de determinadas materias adquieren una actividad química elevada. Variando la frecuencia de radiación, es posible excitar las moléculas de diferentes materias. Esto significa que en los procesos químicos complejos se puede hacer las correcciones necesarias acelerando unas reacciones sin influir sobre la marcha de las restantes. Con el mismo haz es posible destruir el enlace entre las moléculas, o sea, cambiar según nuestro deseo, la estructura de diferentes materias.

He aquí otra perspectiva más: la transmisión de la energía sin hilos. En realidad el haz fino es de por sí un conductor; en él está concentrada toda la energía, que puede ser llevada a su destino sin perderla por el camino.

Existen también otros proyectos. La luz produce presión; el científico ruso Lebedev demostró esto hace 70 años. Pero si la presión de la luz habitual se capta sólo mediante aparatos muy sensibles, entonces ¿cuál será la magnitud de esta presión en un haz potente y estrecho? Se cálculo que la presión en el haz de láser se mide en millones de atmósferas.

Mediante este haz, parecido a un puntero gigante, puede cambiarse desde la Tierra, la trayectoria de los satélites artificiales.

Con la aparición del láser nació una nueva orientación en la técnica, la holografía. ¿Qué significa esto?

En términos simples es algo semejante a la fotografía en volumen. El objetivo de filmación y una placa especial se alumbran mediante el haz de láser, dirigido por un sistema de espejos especiales. Sobre las placas quedan las huellas de la acción recíproca de los haces (los hologramas). No se busquen en el holograma la imagen del original; en este solo encontrarán un entrelazamiento de líneas extravagantes, que no tienen nada en común con los contornos del objeto, que acaba de fotografiarse; pero si se quita el objeto y se hace pasar el haz de láser a través del holograma, de nuevo aparecerá el objeto. No, no es el objeto, sino solamente su "copia de onda"; este no es material, ni tiene peso, pero si posee un determinado volumen. Podríamos hacer un recorrido alrededor de este, observándole por detrás; si en el holograma hubiese dos objetos (por ejemplo, dos figuras de ajedrez) entonces,

En esto "el retrato" en la holografía se diferencia de cualquier estereo-imagen, creada hasta hoy día. Antes de la aparición del láser, en el mejor de los casos, se podría crear solamente una ilusión del volumen y la perspectiva, mientras qua en la actualidad aparece una verdadera "copia" del original, solamente que compuesta no de materias sino de ondas.

Se puede suponer qua con el desarrollo, la holografía conquistara un sólido puesto en la estereo-televisión y en el cine estereoscópico.

§ 4.41

En muchas ramas de la técnica hallarán uso los haces luminosos finos y filiformes y concentrados originados por los láseres. Los láseres sarán ampliamente utilizados para el mantenimiento de la comunicación con los objetos cósmicos. Es evidente qua la comunicación directa entre la Tierra y el cosmos es muy dificultosa, ya qua la luz es dispersada por las nubes, la niebla, la nieve, la lluvia. El láser deberá ser instalado en los satélites mientras que las estaciones de radio comunes, mantendrán la comunicación entra el satélite y la Tierra.

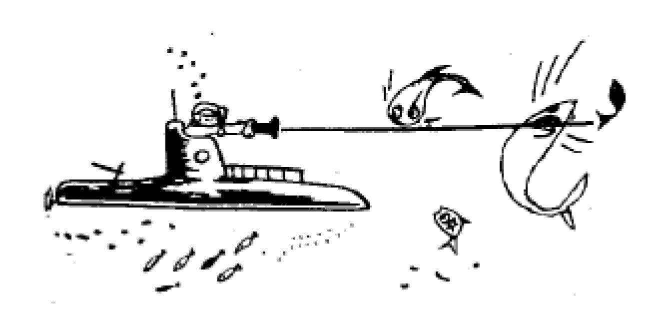
§ 4.42

El haz mandado por el láser al espacio cósmico incidirá exactamente sobre el lugar destinado.

Para la comunicación con Marte, una estación de radio ordinaria debería tener una potencia de millones de vatios, mientras que al láser le bastara con un vatio solamente, ¡menos que la potencia de una linterna de bolsillo!

§ 4.43

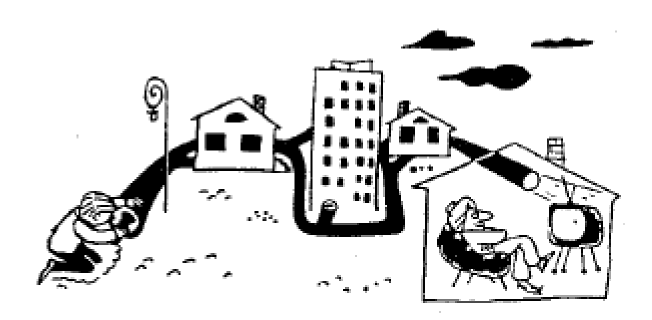
Los láseres podrán prestar un gran servicio no solamente a la comunicación cósmica, sino también a la submarina. Las ondas radioeléctricas ordinarias en el agua resultan considerablemente atenuadas, por eso para la comunicación y localización submarinas hoy día se usa el ultrasonido. La luz también pasa con gran dificultad a través del agua, pero las ondas luminosas con longitudes correspondientes a los colores azul claro y verde, el agua del mar las deja pasar libremente: lo que explica su color específico.



La comunicación y la localización en las profundidades marítimas se realiza hoy día por medio de los haces de láser de color de la ola marítima".

§ 4.44

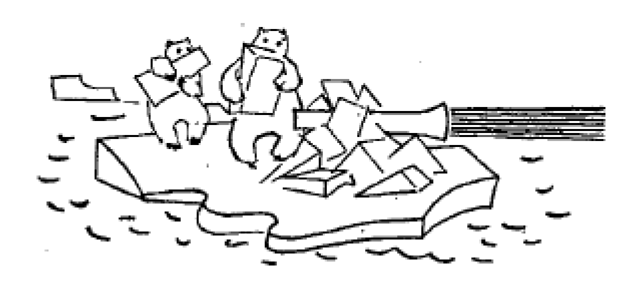
Las señales luminosas, que se usarán como señales portadoras en la comunicación sonora y televisiva, deberán ser protegidas de la acción atmosférica.



Por lo visto, para estas señales serán diseñados tubos especiales, y para cambiar su dirección, en los tubos serán instalados espejos.

§ 4.45

Para la electrónica, la época de las "enfermedades infantiles" se acabó hace ya tiempo, mientras que para la fotónica acaba de comenzar.



Recordarán ¿cuán difícil resultó ser el paso de los transmisores de chispa a la irradiación continua de ondas? Algo semejante ocurre hoy día con el láser. La excitación se efectúa mediante ráfagas. Después de cada ráfaga producida por el tubo de excitación el láser irradia un impulso, con una duración de milésimas de segundo. La creación de una excitación continua resulta un problema dificultoso: si

se aumenta la potencia de excitación, el láser se recalentará excesivamente, habría que valerse de refrigeración, construyendo sistemas complicados y voluminosos.

Recientemente se consiguió crear varios tipos de láser con irradiación continua de ondas.

§ 4.46

En el estudio del cosmos, los amplificadores moleculares y paramagnéticos prestan una gran ayuda. El principio de su funcionamiento es muy semejante al principio del láser. Así como en el láser, con ayuda de la energía exterior, las moléculas de la sustancia se excitan y suben al escalón E_1 - E_3 (véase § 4.33).

Pero si en el láser, a continuación de esto, los átomos independientemente (como se dice, espontáneamente) pasan a un nivel más bajo, irradiando fotones, en el amplificador (molecular o paramagnético) para esto hay que crear un nuevo impulso. Tal impulso es la señal a amplificar.

La frecuencia de la señal que se amplifica debe corresponder a la magnitud de aquel "escalón", del cual caerá por causa del impulso la molécula de sustancia (E3 - E2). Resulta como si el circuito del amplificador (es decir, la molécula) estuviera sintonizado en resonancia con la señal que se amplifica.

En los amplificadores, tanto en el molecular como en el paramagnético el estado excitado del medio (del cristal, de la solución, del gas), se crea bajo la frecuencia de los campos electromagnéticos.

Las diferencias están relacionadas a que la excitación esta condicionada por diferentes procesos físicos. Si en los amplificadores moleculares los electrones al excitarse pasan de una órbita a otra, en los amplificadores paramagnéticos los electrones, al excitarse, se quedan en sus órbitas, pero cambia el estado magnético de las moléculas de la sustancia paramagnética irradiada.

§ 4.47

La principal ventaja de los amplificadores cuánticos es la ausencia de ruidos interiores (propios). En efecto, en los amplificadores de válvulas los ruidos propios se engendran por el movimiento térmico de los electrones. La amplificación paramagnética se

realiza a temperaturas excesivamente bajas (menos de 269 grados Celsius), próximas al cero absoluto. En este caso el movimiento térmico llega prácticamente a desaparecer. Además, cada fotón contiene tan poca energía que incluso durante su movimiento caótico no puede crear sus propios ruidos. Es por eso que con los amplificadores paramagnéticos se puede amplificar la señal en cientos y miles de veces más que con los amplificadores de válvulas, sin temer, que la señal se "pierda" en los ruidos. Y si un receptor de válvulas moderno puede asegurar una amplificación de 10^{24} veces (cien 100 billones), el receptor con amplificador cuántico permite amplificar las señales en miles de veces más.

¡Habla el Universo!

En los últimos altos a los especialistas en electrónica les preocupan cada vez más los problemas cósmicos.

Y es natural, pues el progreso de cada rama de la ciencia y la técnica, siempre sirve de impulso para el desarrollo de las ramas contiguas.

Como consecuencia de la conquista del espacio cósmico se crearon receptores supersensibles, así como esquemas electrónicos perfectos, que aseguran la puesta en órbita de las naves cósmicas y la comunicación entre la nave y la Tierra.



Tras dominar con ayuda de la electrónica un enorme diapasón de ondas, desde un micrón hasta kilómetros, el hombre se pregunta: ¿cómo podrían utilizarse estas ondas para la comunicación con los habitantes de otros mundos? Deben de existir, pues, en alguna parte de la vasta extensión del universo nuestros compañeros de juicio que saben radiar y receptar las señales no peor que nosotros.

Ni que decir tiene, que interesante sería entrar en contacto con ellos y conocer su civilización, que quizás, haya adelantado a la nuestra, digamos, en varios miles de años.

Tal vez en el futuro, se pueda visitar a los habitantes de las galaxias vecinas. Mientras tanto, no estaría de más recibir alguna noticia, alguna señal de respuesta en este sentido: ya sabemos que existís y estamos de acuerdo en tener amistad con vosotros.

Esta ilusión nació mucho antes de que surgiera la electrónica. Entonces estaban en discusión distintos medios de comunicación. Se propuso construir un enorme espejo capaz de reproducir el rayo de sol en Marte. La idea de los autores era marcar con este "rayo” de sol en la superficie de Marte algún signo matemático. Existieron también otros proyectos; como por ejemplo, crear en la Tierra una gigantesca señal. El famoso matemático Gauss consideraba que Siberia para dicho fin, vendría como anillo al dedo. Sugería sembrar en el área que formara la señal, trigo, cuyo color amarillo contrastaría bien sobre el fondo verde de la taiga. Habrá quienes consideraban que esta señal debía construirse en el desierto de Sahara.

Ninguno de los proyectos nombrados llegó a realizarse. La aparición de la radio hizo revivir la vieja ilusión. Se esperaba que los habitantes del universo transmitieran noticias por radio. Y aquí esta...

¡Noticia bomba! ¡Señales desde el cosmos! El ingeniero norteamericano Karl Yansky captó unas noticias que se repetían exactamente cada 23 horas y 56 minutos.

Por desgracia, el estudio de estas señales decepcionó a los impacientes de establecer la comunicación interplanetaria. Resultó que no eran hombres, ni mucho menos, los que emitían las señales. Eran la Luna, el Sol, Mercurio, Saturno los que emitían ondas electromagnéticas. Se logró recibir emisiones de “estaciones de radio” naturales, que distan de nuestro planeta miles de millones de años luz.

Quedó insatisfecha el ansia de comunicarse con los habitantes del universo. No obstante, surgió la radioastronomía, una nueva rama aplicativa de la electrónica.

¡Aquí la Tierra! ¿Cómo me oyen?

Pero, bueno, si nuestros compañeros de juicio no se apresuran a comunicarse con nosotros, ¿tal vez merezca la pena que les hagamos saber de nosotros?

En 1960 fue enviada una señal en la onda de 21 cm desde Norteamérica. Al cabo de 11 años, luego de recorrer, una distancia de 100 trillones de kilómetros, dicha señal debe alcanzar los sistemas estelares de Tau Ballena y Épsilon-Erídano. Y si los habitantes de uno de los planetas de este sistema captan la señal y desean entrar en contacto con nosotros, recibiremos la respuesta en el año 1982. Como se ve, incluso una breve conversación con los habitantes del universo debería prolongarse bastante: una sola pregunta y una respuesta en 22 años.

¿Son muchas las posibilidades de entablar tal conversación? Si allí habitan seres razonables, ¿tendrán receptores lo suficientemente sensibles? ¿Estarán sintonizados precisamente en esta onda?

Es difícil pronosticar algo. Sin embargo, al elegir la onda de 21 cm los científicos perseguían un objetivo absolutamente concreto. Pues en esta misma onda los átomos de hidrógeno transmiten sus señales. Ello tiene lugar cada vez que cambia el momento magnético de las partículas en el interior del átomo. En cada átomo este fenómeno se repite una vez cada 11 millones de años. Pero la cantidad de hidrógeno disperso en el espacio es tan grande que este fenómeno se repite a cada instante, y por eso de cualquier parte del universo llegan ininterrumpidamente señales en la onda de 21 cm.

El espacio interestelar en su totalidad está lleno de hidrógeno. Los astrónomos observan lo que acaece alrededor, partiendo de las señales emitidas por los átomos de hidrógeno. En particular, se logró observar la catástrofe de dos galaxias gigantes y sobre la base de ello surgió la hipótesis del cataclismo de dos “antimundos”.

Está bien, pero ¿qué tienen que ver con esto otras civilizaciones? ¿Por qué decidieron los científicos que seríamos oídos justamente en dicha onda?

Razonaron Así: cualquier civilización que haya alcanzado un nivel de desarrollo como el nuestro o bien más debería interesarse por explorar el universo y captar las señales de hidrógeno en la onda de 21 cm. Por consiguiente, tendrán receptores sintonizados en dicha onda. Basta, mediante la modulación, darle un cierto “colorido” a la señal para que esta se diferencie fácilmente. "Aquella gente” comprenderá que son señales de Ramada y enviaran la respuesta.

¿Serán confirmadas estas hipótesis? Lo veremos. No queda mucho de esperar, tal vez unos 9 años.

El segundo aliento de la Astronomía

Los deportistas tienen momentos que creen ver agotadas sus fuerzas. Y súbitamente les viene el segundo aliento.

Algo similar ocurrió con la astronomía. Se había estudiado a fondo todo lo accesible al telescopio óptico. Sin embargo, la infinita extensión del universo tentaba por la abundancia de misterios por reveler. ¿Cómo proceder si se han agotado, todas las posibilidades de los telescopios y es imposible ver más allá? Y de súbito, el segundo aliento. Mejor dicho, la segunda vista.

El radiotelescopio acudió en ayuda del telescopio óptico.

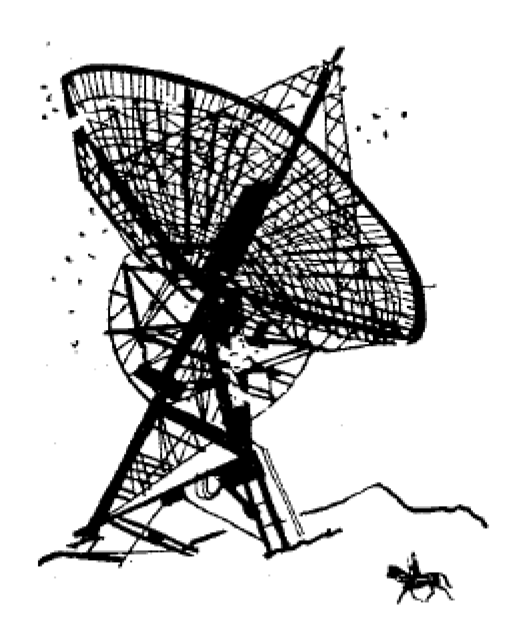
El espacio cósmico resultó saturado de emisiones de toda diversidad de frecuencias. Estas señales son emitidas por una infinidad de transmisores naturales. El sol emite al espacio ondas en una banda de 8 milímetros a 12 metros. Nuestra Luna “trabaja" en la onda de 1,25 centímetros. Las gigantescas acumulaciones de hidrógeno emiten incesantemente señales en la onda de 21 centímetros. Todas las ondas, desde el centímetro hasta varios metros, atraviesan la atmósfera terrestre.

Los espejos gigantescos de las antenas de los radiotelescopios con diámetros de hasta 100 metros rastrean incesantemente el espacio, detectando cuanto ocurre alrededor. El aspecto de estos espejos podrá extrañar a cualquiera: ¿qué clase de espejo es si está compuesto enteramente de agujeros? En efecto, los espejos se hacen de rejillas para su aligeramiento. ¿Por qué las ondas interceptadas no se infiltran por los orificios de la rejilla?

Estamos habituados a espejos ordinarios, destinados a reflejar las ondas ópticas. Las ondas interceptadas por las antenas de los radiotelescopios, suelen ser centenares de miles de veces más largas que las ópticas. Puesto que el tamaño de los orificios del espejo es mucho menor que la longitud de estas ondas, para ella, este espejo resultaría tan plano y liso, como el ordinario para las ondas ópticas con una longitud de fracciones de micrón.

El espejo refleja las ondas captadas, enfocándolas en la antena. ¡Con ayuda de estos dispositivos se logró descubrir una multitud de galaxias desconocidas, que se hallan a distancias, de donde la luz llega a la Tierra al cabo de 6 mil millones de años!

La radioastronomía posee no solamente una fantástica presbicia, sino que es capaz de ver de parte a parte.



Las ondas electromagnéticas llegan hasta los más recónditos rincones del universo, impenetrables para los rayos de luz por hallarse tras capas de polvo cósmico.

Con ayuda de los radiotelescopios se han descubierto en el centro de nuestra Galaxia, cúmulos estelares hasta ahora desconocidos. La Galaxia tiene forma de espiral, como precisamente lo había predicho la teoría, antes de que se lograra observarla.

En el desarrollo de la radioastronomía han desempeñado un enorme papel los amplificadores cuánticos moleculares y paramagnéticos (véase § 4.45 y § 4.46). Estos permiten captar señales sumamente débiles que llegan del lejano espacio. En realidad dichos amplificadores sirven precisamente para esto y resultarían excesivamente buenos para la radiocomunicación corriente.

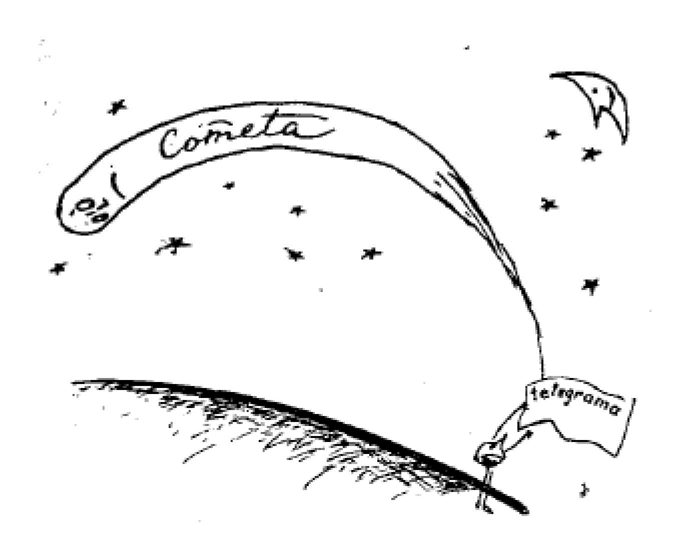
Parece extraño, pero los especialistas han llegado precisamente a esta conclusión paradójica. El hecho es que dichos amplificadores son tan sensibles que cualquier cuerpo que emita ondas térmicas (infrarrojas) provoca interferencias muy palpables para ellos. Solo en el caso en que la antena del receptor esta dirigida hacia el frío cosmos, suele utilizarse con eficacia la amplificación de que este es capaz.

En la ciudad de San Fernando (EEUU) se instaló un radiotelescopio para la observación de las estrellas apagadas, invisibles para un telescopio ordinario. Y resultó tan sensible, que contaba a todos los insectos en vuelo, percibiendo el calor de sus diminutos cuerpos. No se podía fumar ni un cigarrillo a un radio de 15 metros del telescopio sin perturbar la recepción.
Los objetivos espaciales que no emiten señales pueden “palparse” con ondas reflejadas. La tarea resultó fácil para la localización, aunque los objetivos estaban bastante alejados y no eran del todo habituales. Fue menester estaciones especiales y emitir impulsos más potentes, aunque con mucha menos frecuencia. Estas señales contribuyeron a precisar la composición de la Luna y Venus y medir la distancia de éstas a la Tierra; pues la localización esta Ramada a fijar con la precisión de varios kilómetros objetos muy alejados. Los científicos del Instituto de Física P. N. Lebedeva, obtuvieron un láser especial con el que lograron realizar la localización de la Luna desde el observatorio astrofísico de Crimea.

Sobre la cola de los meteoros

La electrónica ha ayudado a la astronomía y ésta le ha pagado con la misma moneda. Entre otras cosas, coadyuvo a estudiar las condiciones de propagación de las ondas electromagnéticas en la atmósfera en dependencia del estado del Sol y demás cuerpos celestes. También ha hecho sugerencias en lo referente a la comunicación segura a grandes distancias. Se ha establecido que desde el cosmos la Tierra es bombardeada incesantemente por partículas meteóricas. Al penetrar en la atmósfera los meteoros se queman rápidamente, pero por cierto tiempo, se conserva la traza ionizada que surge en su trayectoria. Si el peso del meteoro es, por lo menos, de una cienmilésima fracción de gramo, la traza será lo suficiente densa para reflejar las ondas de radio.
¿Sería posible receptar las ondas reflejadas por estas trazas? ¿Será esta comunicación permanente o habrá que esperar hasta que se logre coger a los meteoros por la cola?
La lluvia meteórica es continua. En la atmósfera arden diariamente cerca de diez mil millones de meteoros de una cienmilésima fracción de gramo de peso.

Pero no todo mensajero del cosmos sirve para la comunicación. Pueden volar en cualquier dirección, pero la disposición de sus colas dependerá de la trayectoria. Es preciso acechar tal cola, que las ondas reflejadas por ella vayan en dirección de la estación receptora.



Mientras no haya condiciones convenientes, la estación de enlace a grandes distancias graba automáticamente en cinta magnética las comunicaciones, observa el estado de la atmósfera y aguarda a que en el cielo surja una traza favorable para la comunicación. En cuanto ésta aparece la estación se apresura a transmitir todas las comunicaciones acumuladas. Esta estación transmite cerca de mil quinientas palabras al minuto en vez de cien palabras por minuto que pueden transmitirse por radiocomunicación corriente. Esta “precipitación" de palabras contribuye a transmitir en breve lapso todas las comunicaciones que la estación acumuló, mientras se carecía de colas meteóricas favorables.

Más allá del linde prohibido para la televisión

Ya estamos persuadidos de que el cosmos puede coadyuvar a la electrónica a resolver muchos problemas de la Tierra. Entre otros, el de la televisión a largas distancias.

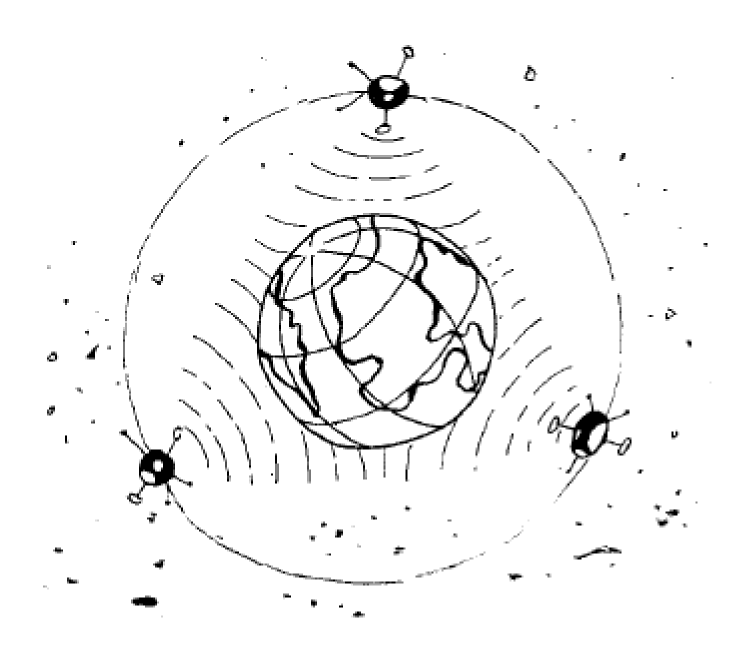
La visibilidad directa limita el alcance de recepción de esas señales. El horizonte es el linde prohibido. ¿Cómo superar este linde?

La retransmisión es un método suficientemente seguro. A la distancia de visibilidad directa se instalan estaciones de retransmisión que perciben y, a su vez, irradian la señal.

Es evidente que no resulta barato, pues si cada 100 kilómetros hay una estación, en una distancia de 10.000 kilómetros se necesitaran cerca de 100. Y menos mal si la señal va por tierra, pero ¿cómo proceder si en el camino se interpone el océano?

La señal puede ser emitida por cable, pero de este modo pierde rápidamente la energía. En este caso habría que instalar amplificadores en su trayecto. Y si las estaciones retransmisoras se construyen cada 100 kilómetros, sería preciso instalar amplificadores cada 25-30 kilómetros de cable. También resultaría costoso y poco eficaz la línea de comunicación.

Para aumentar la distancia puede elevarse más la antena de la estación retransmisora. En tal caso, sería mucho mayor el límite de visibilidad directa, se ensancharían los horizontes y la estación podría mantener un espacio más considerable. Los franceses, no en vano, se valen para la retransmisión de su obra más elevada La Torre Eiffel.



Italia y Suiza se comunican a través de los Alpes: las antenas retransmisores están instaladas en las cumbres de Jungfrau (4166 metros), Monte Generoso (1701 metros) y en la ciudad de Schasserel, situada a 1609 metros sobre el nivel del mar.

Los norteamericanos trataron de resolver de otro modo el problema de la televisión a grandes distancias: crear una "ionosfera artificial" con ayuda de cohetes especiales. Una explosión a cien kilómetros de altura producía una nube de potasio elemental. Esta nube ionizada por los rayos solares, reflejaba las ondas televisivas durante de hora y media a dos horas. Es evidente que este proceso es admisible en casos especiales. Pero es poco probable que de este modo pueda asegurarse la transmisión diaria de programas de televisión, pues la ionización de la nube, producida por los rayos solares, tampoco es constante, ya que la comunicación cesa con la puesta del sol.

¡Sin embargo, el problema puede ser resuelto cardinalmente con ayuda de los satélites artificiales! Los retransmisores instalados en tres satélites puestos en órbita a 120 grados aseguraran la comunicación televisiva mundial. Si la órbita se elige correctamente (la altura calculada es de 35.800 km) cada uno de los satélites está Madex a un punto determinado del ecuador: el número de revoluciones del satélite coincidirá con el de la Tierra.

En 1963 el cohete norteamericano "Thor" puso en órbita el primer satélite artificial "Synkom 2" para retransmitir en "intervisión". Con ayuda de este satélite se transmitieron fotocuadros desde el puerto Lakehurst (Estado de Nueva Jersey) al barco "Kingsport", que navegaba rumbo a Nigeria, hacia la isla africana de Lagos.

Los satélites artificiales soviéticos "Molina" coadyuvaron a transmitir emisiones televisivas desde Moscú hasta el Extremo Oriente.

Al realizar la "Intervisión" mediante satélites artificiales hubo que enfrentarse con una serie de problemas por resolver. Como, por ejemplo, transmitir un concierto vespertino a otro lugar del globo terráqueo, donde ya son altas horas de la noche.

En este caso, el programa se graba previamente en cinta magnética y se transmite al despuntar el día.

Los satélites artificiales pueden coadyuvar no solo a la televisión, sino a la radiocomunicación corriente. El problema reside en que de año en año se observa más estrechez en el diapasón de ondas de 10 a 2000 metros. De aquí se desprende el afán de ampliar el diapasón de radiocomunicación hasta ondas centimétricas. Pero aquí existe la inconveniencia de que la ionosfera no refleja las ondas más cortas de varios metros, siendo el horizonte el límite que estas no pueden "salvar".

Es aquí, donde los satélites artificiales acuden en ayuda. Instalando en los satélites un retransmisor, puede percibirse una radioemisión en ondas centimétricas y dirigirlas desde el satélite a cualquier punto lejano de la Tierra...

Cuesta arriba por la escala de las frecuencias se adelanta no solo la electrónica, sino las ramas de la técnica relacionadas con ella: la radio empezó a asimilar ondas centimétricas y la televisión pretende aplicar los láseres y funcionar en ondas de décimas de fracción de micrón.

Capítulo 5
Elementos de las máquinas "inteligentes"

Cómo, mediante sencillas células electrónicas se crean los esquemas complejos de las máquinas "inteligentes"

Contenido:

§ 5.1

Aún en la primera etapa de la vida se puede decir que desde la más tierna infancia,



el tríodo fue célebre (lo mismo, por ejemplo, que Robertino Loretti). Pero su fama era en aquel tiempo unilateral: su mérito principal: se consideraba su capacidad de servir de paso a los electrones. Si refrescamos la memoria veremos, que al principio era incómodo llamarle lámpara y fue conocido bajo el nombre de "relé de vacío". Con el tiempo el "talento" del tríodo resultó mucho más multifacético: Este servía de amplificador, generador, modulador, detector y de mezclador, o sea, podía resolver todos los problemas (en una determinada gama de frecuencias) planteados por la radiocomunicación.

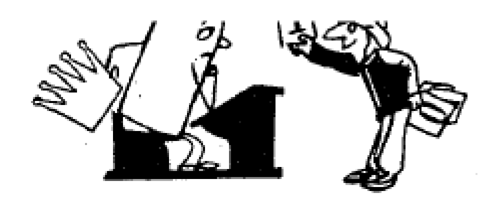
Con la aparición de la técnica de los impulsos, nuevamente fue necesario recordar de los triodos-relés. Actualmente en todos los esquemas de los radares se encuentran triodos. En las máquinas calculadoras electrónicas los triodos relés se aplican también en cientos de miles de unidades.

§ 5.2

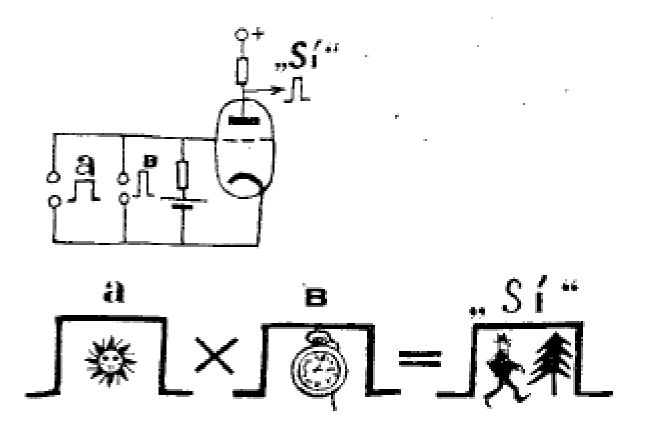
Es por todos conocido que la máquina calculadora electrónica fue el origen de las máquinas "inteligentes". Por eso esta requiere relés también "inteligentes". Para no retrasarse en la vida, el tríodo se vio obligado a aprender: asimiló la lógica y aprendió el cálculo binario.

El tríodo posee una lógica sencilla: o esta abierto, o cerrado. En el primer caso responde "sí", en el segundo, "no".

Supongamos, por ejemplo, que el tríodo esta cerrado. Él (su rejilla) recibe a la vez dos impulsos (A y B). Se abre y da la respuesta así. De esta manera confirma que, efectivamente, los dos impulsos llegaron a la vez: el A y el B. ¿Y si llega solamente uno de los dos? Resulta que la cuestión reside en el esquema radio-electrónico. En el caso señalado, este esquema distal, que cada impulso por separado, no puede abrir el tríodo. Esto se logra suministrando potencia negativa la rejilla.



El impulso puede significar cualquier cosa, o sea, cualquier acontecimiento A y B. Por ejemplo, si hace buen tiempo (A) y se dispone de tiempo libre (B), es posible ir a pasear ("sí"). Y si una de las condiciones no se cumple, entonces no se puede pasear ("no").

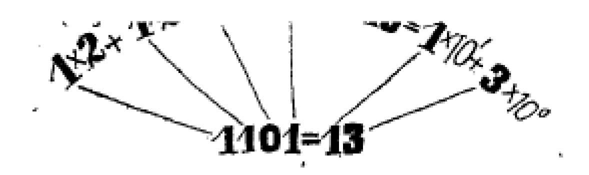


En los esquemas automáticos electrónicos los triodos generalmente resuelven otros problemas. Supongamos que si la pieza está correctamente fijada (A) y se le acerca la cuchilla de la forma necesaria (B), el torno se pone en marcha ("sí").

En un esquema de varios triodos es posible prever distintas condiciones, y si estas coinciden, se puede obtener en el último tríodo una respuesta general ("sí"). Así se consigue mediante los mismos triodos-llaves elaborar programas de acción para las máquinas calculadoras electrónicas y las máquinas automáticas.

§ 5.3

Cuando el tríodo se utiliza para el cálculo, la posición abierta se toma como la unidad y la cerrada como cero. Mediante las unidades y ceros se forma cualquier número aplicando el sistema de numeración binaria. El principio del sistema binario es simple. A diferencia del decimal, cuya base es el número 10, el sistema binario tiene como base el 2.



Cualquier número en el sistema decimal es una suma dos decenas elevadas a distinta potencia, por ejemplo:

$$1307 = 1*10^3 + 3*10^2 + 0*10^1 + 7*10^0.$$

También es posible presentar este mismo número como una suma de doses elevados a diferentes potencias:

$$1307=1*2^{10}+0*2^9+1*2^8+0*2^7+0*2^6+0*2^5+1*2^4+1*2^3+0*2^2+1*2^1+1*2^0=$$
$$= 10\ 100\ 011\ 011.$$

Y el número 13 se presenta así:

$$13=1*2^3+1*2^2+0*2^1+1*2^0=1101.$$

El lector puede encontrar más detalles sobre los principios del cálculo binario y de las operaciones lógicas en el libro de N. Kobrinski y V. Pekelis "Más veloz que el pensamiento" y el de E. Sedov "Reportaje desde la Tierra de Nadie" (impresos por la editorial Joven Guardia en el año 1963).

§ 5.4

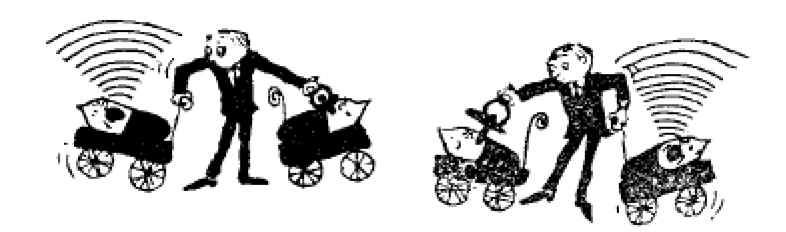
Aplicando las cifras binarias a todas las letras del alfabeto, cualquier texto puede ser transformado en una alternación de unidades y ceros.

El tríodo, abriéndose y cerrando se puede recitar los versos de Pushkin o la prosa de Turgueniev en su "idioma tubo-electrónico".

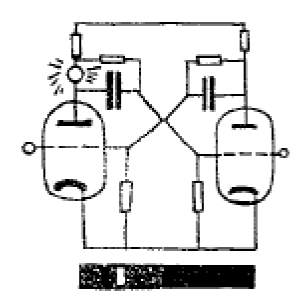


§ 5.5

Resultó muy cómodo para la numeración binaria el esquema de dos triodos, conocido como trigger (lo que en español significa "pestillo").



Inicialmente, el trigger se utilizaba en la radiolocalización y en los últimos años comenzó a usarse ampliamente en los circuitos de las máquinas electrónicas.

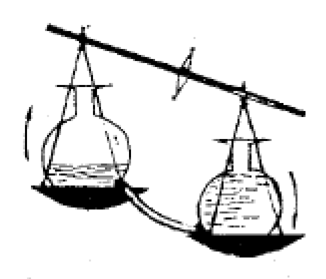


El trigger tiene dos posiciones. Si el tríodo izquierdo está abierto, entonces el derecho obligatoriamente esta cerrado. En este caso, se enciende la lámpara que está conectada al circuito anódico el tríodo izquierdo, lo que significa la cifra "1".

En la otra posición, el tríodo de la derecha esta abierto y el de la izquierda cerrado. La lámpara no se enciende ("0").

§ 5.6

Por su principio de acción el trigger recuerda a la balanza, cuando sobre ambos platillos se colocan recipientes llenos de líquido muy móvil y se unen entre sí. Al presionar sobre el platillo derecho de la balanza obligamos a este a descender y todo el líquido contenido pasa hacia el recipiente de la derecha.

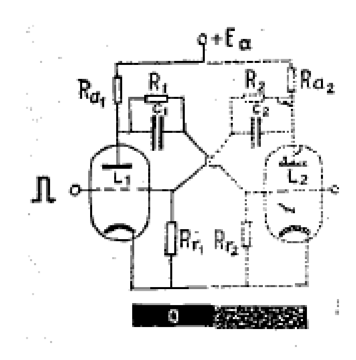


Esta posición será muy estable, porque el líquido con todo su peso presiona sobre el platillo derecho de la balanza. Para sacar a nuestro sistema de esta posición es necesario ahora presionar sobre el platillo de la izquierda. Este pasa por inercia la posición de equilibrio y el líquido que pasa del recipiente de la derecha comienza a llenar el de la izquierda. El líquido presionara ahora sobre el platillo de la izquierda. La balanza adquirirá una nueva posición también estable. Para cambiar esta nueva posición es necesario un nuevo impulso.

§ 5.7

Algo semejante ocurre en el trigger. Los tubos electrónicos hacen el papel de recipientes, pero en lugar del líquido, que pasa rápidamente de un recipiente a otro, disponemos de corriente eléctrica mucho más rápida. En un tubo cerrado no hay corriente alguna, es el recipiente vacío.

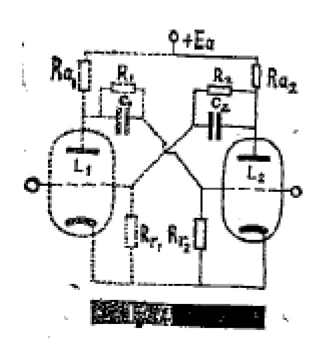
Supongamos que inicialmente el tubo L1 de la izquierda esta abierto, el trigger esta en la posición "0". En un memento dado llega a la rejilla de L1 un impulso positivo: nuestra abalanzas recibe un empuje. Mientras el tubo L1 permanecía cerrado, la corriente pasaba por fuera del tubo "por vía indirecta" a través del circuito de las resistencias Ra1, R1, y Rc2. Este circuito representa un divisor. A cada uno de los tres brazos del divisor le corresponde una parte determinada de tensión anódica positiva (+Ec).



El impulso abre el tubo de la izquierda L1, que esta conectado en paralelo al brazo inferior del divisor Rc2. En el brazo inferior del divisor Rc2 la tensión positiva disminuyó considerablemente (ya que la resistencia de la lámpara abierto L1 es baja) o sea, disminuyó la tensión positiva entre la rejilla y el cátodo del tubo L2. El tubo L2 comienza a cerrarse. Y, puesto que L2 esta conectado en paralelo al brazo Rc1 del segundo divisor (los circuitos Rc2, R2, Rc2), entonces, en este brazo la tensión crecerá. Por consiguiente, crece el potencial positivo también en la rejilla L2 abriéndose este tubo aún más.

§ 5.8

Se puede pensar, que los tubos se prestan una ayuda mutua singular: ambos se ayudan a pasar a una nueva posición. Y como resultado, el de la izquierda ahora se abrirá, y el de la derecha permanecerá cerrado: todo el "líquido" pasa del "platillo" de la derecha al de la izquierda, la balanza "se volcó" y espera en esa posición un nuevo empuje. A esta posición le corresponde la cifra 1.



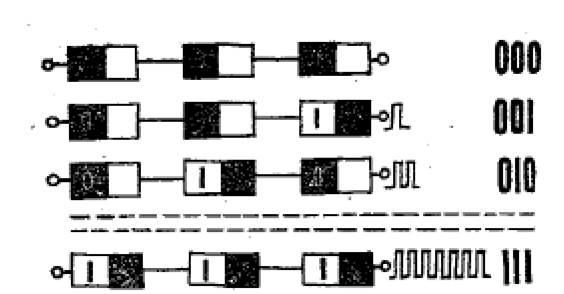
Es evidente, que en este caso sobre los platillos de la balanza influye no el peso del "líquido electrónico" pues el peso de los electrones es insignificante, sino, que las cargas eléctricas. Los electrones al moverse crean corriente dentro del tubo electrónico. Los impulsos de la corriente provocan los impulsos de la tensión, la tensión actúa sobre la rejilla de la otra mitad del trigger y vuelca la "balanza".

Unamos en cadena tres triggers y obliguemos a cada uno de ellos después que la balanza osciló una vez para uno y otro lado, a empujar a la siguiente balanza. Con la ayuda de esta cadena es posible calcular los impulsos que llegan. El primer impulso vuelca el trigger que se encuentra al principio de la cadena. El segundo impulso obliga a la "balanza", a oscilar hacia el otro lado y con esto el impulso del primer trigger vuelca la segunda "balanza". -

§ 5.9

Con el arribo del siguiente par de impulsos, el trigger, que se encuentra en la entrada de la cadena, nuevamente oscila hacia ambos lados y le transmite otro impulso más al trigger 2.

El primer trigger oscilara después de cada impulso, el segundo trigger después de cada par de impulsos, el tercero después de cada cuatro impulsos. Para hacer oscilar hacia un lado y hacia el otro al último trigger es necesario dar echo impulsos, o sea, 22.



La cadena de cuatro triggers se vuelca después del arribo de los impulsos (o sea, 2^4), la de cinco triggers después de 32 impulsos (26) y la de n triggers después de 2^n.

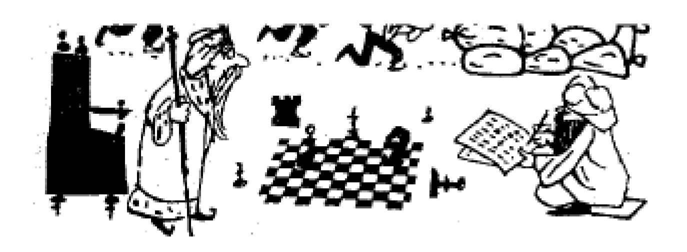
¿Y si es necesario contar millones y miles de millones de impulsos no se requerirían demasiados triggers?

§ 5.10

Existe una leyenda india sobre como el Zar Sheram decidió premiar al sabio Tset por su invención del juego de ajedrez.

La petición de Tset le pareció al zar muy modesta: el sabio deseaba recibir en recompensa trigo, con la particularidad que pidió que en cada escaque se colocara una cantidad de granos dos veces mayor que la que se encontraba en el escaque anterior.

El tablero consta de 64 escaques o casillas. Si se colocan 2 granos en la primera casilla, en la última deben encontrarse 264 granos. AI Zar le fue imposible entregar la cantidad prometida. Cuando se calculó la cantidad de granos en la última casilla resultó que ésta representaba 18 quintillones 446 cuatrillones 774 trillones 73 billones 709 millones 551 mil 616 de granos. ¡Eran necesarios dos graneros con una longitud de la tierra hasta el sol para almacenar estos granos!



Ahora se comprende que para calcular las enormes cifras de los triggers no es mucho en realidad lo que se exige: puesto que 64 triggers pueden contar exactamente 264 impulsos, o sea, esa misma cifra tan fantástica.

La cibernética y la electrónica

Quien no ha oído hablar de las máquinas "inteligentes". Ahora quizás todo el mundo ha oído algo sobre estas. Es de todos conocido que existen en el mundo máquinas que traducen textos a idiomas extranjeros, que dirigen complicados procesos y, a veces, en relación al "ocio cultural" juegan al ajedrez y escriben música o versos.

¿Quién les enseñó todo esto? El creador de todas las máquinas tanto las "no inteligentes" como las "inteligentes", es el hombre. Pero ahora esas mismas máquinas, y especialmente las máquinas automáticas superiores, en el curso del

trabajo consideran sus propios errores y acumulan experiencia, haciéndose cada vez más "inteligentes". ¡Puede llegar el día en que la máquina sea tan "inteligente" que puede enseñar a quien la crea máquinas maravillosas! Como materia prima para ellas sirven los distintos datos, o como se dice ahora, la información, que llega del mundo exterior. Y el producto elaborado son las soluciones que se producen en los circuitos electrónicos.

Nosotros las admiramos. Pero más digno de admiración es el genio humano que las supo crear. Engels consideró al intelecto humano como la flor suprema de la naturaleza. Así como la flor suprema de la electrónica se considera la creación de las máquinas electrónicas "que piensan".

Pero sería injusto atribuir estos méritos sólo a la electrónica. No es casual que todas las máquinas "inteligentes" y automáticas pertenecen a la clase de aparatos electrónicos cibernéticos. A la cibernética le corresponden en efecto todos los meritos principales, puesto que todas las máquinas automáticas "inteligentes" - están construidas sobre la base de sus métodos e ideas.

Podía pensarse que el papel de la electrónica es aquí mucho más modesto: que esta solo sirvió de base sobre la cual las ideas desarrolladas por la cibernética pudieran realizarse en vida. Sin embargo, no se debe relegar apresuradamente a un segundo piano a la electrónica: de no existir una base no existirían ideas. Y si la electrónica existió antes que la cibernética, entonces no seria posible imaginarse la cibernética sin la electrónica. La cibernética propuso nuevos esquemas ingeniosos. Pero, por muy ingeniosos que Sean los esquemas que esta ha creado, sin la ayuda del rápido electrón una máquina nunca hubiese podido realizar cientos de miles de operaciones con los números. Además, ¿es necesario trazar un límite entre las dos orientaciones más nuevas de la ciencia y la técnica contemporánea, la cibernética y la electrónica? Entre estas no han surgido ningún tipo de divergencias o discusiones, sino que existe una estrecha colaboración creadora que ha dado al mundo frutos sorprendentes.

Sin embargo, quizás lo que se dice a continuación a muchos les parezca inverosímil: la electrónica no hizo los menores esfuerzos por crear las primeras máquinas electrónicas. Esta lo tenía todo preparado de antemano: tanto los pequeños impulsos aplicados en los esquemas de los radares, como las cintas magnéticas

para obtener en la memoria los dates del cálculo y los primeros tubos-relés controlados conocidos desde los tiempos de los primeros triodos. Y es necesario señalar que todo esto son medios muy sencillos en el fondo de todo aquello que pudo crear la electrónica para ese tiempo.

¿Qué significan para esta los esquemas de conmutación, si ya había creado los magnetrones, los klistrones, una gran cantidad de aparatos de alta frecuencia, los generadores de impulsos y los esquemas más diversos? Y aunque esto sea sorprendente, los hechos, hechos son, los partos de los radares y de la televisión, la electrónica los paso más dolorosamente que la aparición de las primeras máquinas computadoras electrónicas y aparatos electrónicos, que significaban una nueva etapa en la electrónica, "su alta sociedad".

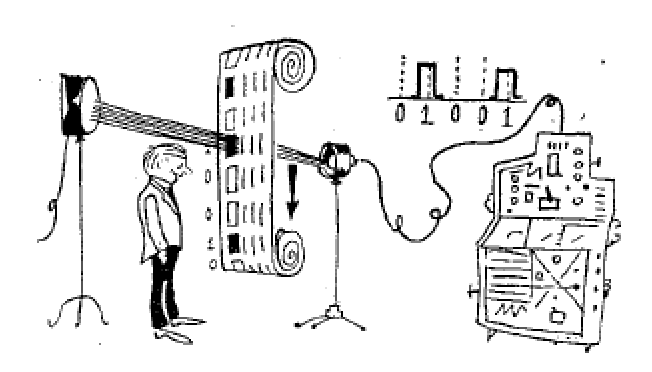
A esta todo le resultó muy sencillo: la cibernética cogió los esquemas preparados y los tubos electrónicos y comenzó a unirlos a su gusto. Surgieron los esquemas cibernéticos. De los esquemas anteriores de la electrónica estos se diferenciaban en principio: podían "razonar", calcular, generalizar y sacar conclusiones. Comenzaron a "pensar" independientemente, mientras que los esquemas anteriores podían vivir solamente con "inteligencia ajena". Sus "razonamientos" tienen una forma especial: cualquier cálculo complejo o razonamiento lógico lo dividen en dos elementos simples: "sí" o "no"; "0" ó "1". Para esto no se necesitan tubos complicados. De esta forma trabaja el tríodo más ordinario. Si este esta cerrado, no habrá corriente en su carga anódica, el tríodo da la respuesta "no" ó el número "0". Si se abre con el impulso que llega a la rejilla, el tríodo da la respuesta "sí" o el número "1". Con estas dos respuestas se puede componer cualquier programa, realizar los cálculos más complejos y hasta formar cualquier idea.

¿Recuerdan los juegos de los niños, en los que uno de los participantes busca el objeto escondido y todos los restantes le dicen "caliente", "frío"? En principio "caliente" y "frío" es lo mismo que las señales: "0" ó "1", "sí" ó "no". Mediante estas señales uno de los que juegan encuentra fácilmente el objeto escondido, recibiendo en forma cifrada la instrucción: El objeto que buscas se encuentra en tal ángulo de la habitación, en el armario que se encuentra frente al diván, en la cuarta gaveta de abajo en la fila izquierda.

Semejantes directrices se pueden dar también al esquema electrónico en forma de consecución de impulsos, suministrados al circuito de las máquinas electrónicas.

§ 5.11

Cada operación en la elaboración de datos en las máquinas electrónicas cibernéticas esta inevitablemente relacionada con el empleo de unos u otros aparatos y esquemas electrónicos. La primera operación es la introducción en la máquina de aquellos dates que ella tiene que elaborar.

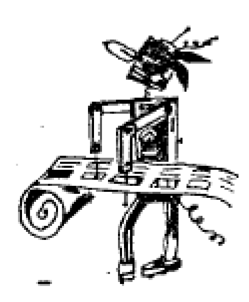


Generalmente, antes de ser introducidos en la máquina, todos los dates se registran en tarjetas perforadas. La tarjeta perforada es un recorte de cartón en el que, en determinados intervalos, se marcan signos del código binario, además, al orificio le corresponde el "1" y a la ausencia de éste el "0".

Estos signos se introducen en la máquina, haciendo pasar la tarjeta uniformemente mediante un simple dispositivo por delante de una fuente de luz. A través de las perforaciones la luz pasa al fotoelemento y a causa del fotoefecto (El fenómeno del fotoefecto se analizo en el Capítulo "Electrones, ondas, campo" (Sección ¿Dónde conseguir cien soles?")), bajo la acción de la luz en el fotoelemento se produce corriente. La corriente se produce en aquel memento, cuando entre la fuente de luz y el fotoelemento pasan los orificios de la tarjeta perforada. Por lo tanto, el impulso surge allí, donde se encuentra el signo "1" y a la ausencia de impulso le corresponde el signo "0".

§ 5.12

Para muchas máquinas la tarjeta perforada es el único vínculo con el mundo exterior. Esta les sustituye los ojos y los oídos, los órganos del tacto, olfato y gusto. Y en efecto, excepto las cifras grabadas en las tarjetas perforadas, en forma de perforaciones y omisiones, dicha máquina no es capaz de asimilar nada. Y esto es a veces incomodo: pare que la máquina trabaje es necesario que alguien palpe, vea, escuche y comunique a la máquina sus observaciones mediante la tarjeta perforada.

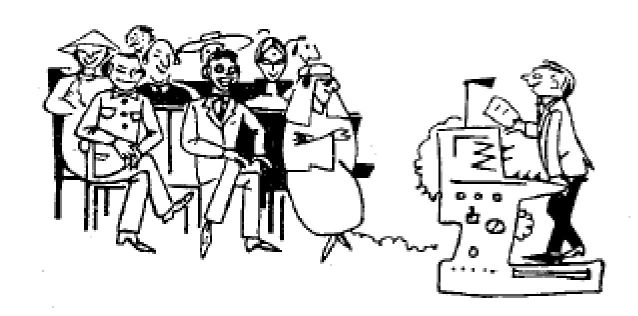


¿Y no sería posible construir una máquina, la cual pudiera pacer observaciones independientemente?

Para la percepción del mundo exterior la naturaleza dote al hombre de los cinco órganos del sentido. ¿Pero time proceder con las máquinas electrónicas? Es dudoso que se pueda admitir que los electrones sean capaces de ver, oír y palpar.

§ 5.13

Efectivamente, un electrón no posee vista ni oído. En cambio a una colectividad de ellos se les puede dotar no solo de vista y oído, sino también de la capacidad de sentir la temperatura y la presión y con el tiempo probablemente podría diferenciar el olor y el saber.



El micrófono sustituye los oídos en la máquina: transforma los sonidos exteriores en corriente eléctrica. El tubo electrónico puede servir a la máquina de ojos: transforma las imágenes en las señales correspondientes. Al elaborar estas señales en esquemas especiales, la máquina puede diferenciar el perro del gato y leer textos escritos con letra diferente.

Al proveer a la máquina de vista y oído, es posible obligar a esta a imprimir el discurso de un informante o un artículo de una revista en varios idiomas a la vez.

Para obligar a la máquina a trabajar "de oído" es necesario crear esquemas complejo capaces de seleccionar para cada sonido, independientemente de cómo se pronuncie, las correspondientes combinaciones de letras. Pero se puede hacer lo contrario: según la combinación de letras elaborar señales de sonidos. Entonces la máquina podía hablar ya qua será capaz de pronunciar en alta voz lo qua esta escrito en el texto, o sea leer “a libro abierto”.

§ 5.14

Ahora conozcamos los órganos del "tacto". A éstos se les llaman captadores. Los captadores ayudan a la máquina a percibir (“palpar”) el calor, la presión, la concentración de distintas soluciones, la influencia de las señales eléctricas, concretamente, todo lo que es capaz de sentir el hombre. Los captadores transforman todas estas solicitaciones en señales eléctricas.

Viene a propósito decir, que la máquina reacciona al cambio de los factores externos (concentración, temperatura, presión) mucho más sensiblemente que el hombre. Para elevar la sensibilidad de la percepción, la señal a la salida de los captadores se amplifica mediante dispositivos electrónicos.



Los propios captadores habitualmente tienen una estructura sencilla. Para “sentir” la temperatura de cualquier cuerpo, basta con poner en contacto con ellos una resistencia térmica. El grado de su resistencia depende de la temperatura. Al aumentar esta cambia la resistencia y en el circuito cambia la corriente. Así trabaja el captador do temperatura.

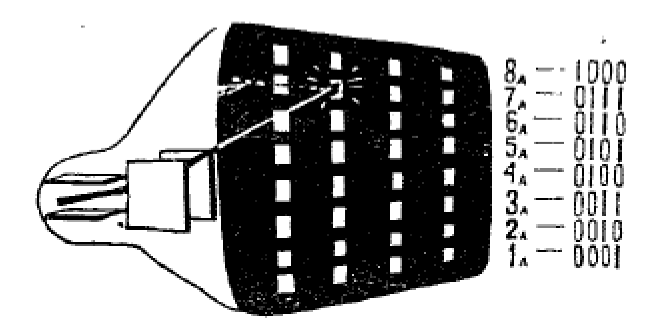
El captador de presión puede representar un condensador, en el que la membrana sine de una de sus armaduras. Al aumentar la presión la membrana se dobla, la holgura entre las armaduras se reduce, la capacidad aumenta y en el circuito cambia la corriente.

El micrófono y el tubo electrónico representan también una especie de captadores. El micrófono es un captador de sonido; el tubo, un captador de imágenes.

§ 5.15

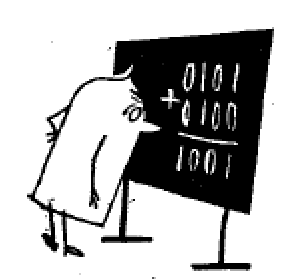
Con la ayuda de los captadores la máquina realiza las observaciones. Pero eso no es todo. Esta debe aún elaborar los resultados de sus observaciones, comparar unas con otras y, tomando una resolución, ofrecer a las personas recetas y recomendaciones o influir independientemente en el proceso, por el cual se le encomendó observar. En otras palabras, al recibir las señales de los diferentes captadores, la máquina debe hacer el cálculo.

Los cálculos generalmente se ejecutan en el sistema binario. Por consiguiente, todos los datos que llegan de los captadores en forma de tensiones que continuamente varían, deben interpretarse en el código binario. El problema, al parecer, en nuevo, no obstante, ayuda solucionarlo el tubo electrónico ya conocido, el cual también resultó útil en este caso.

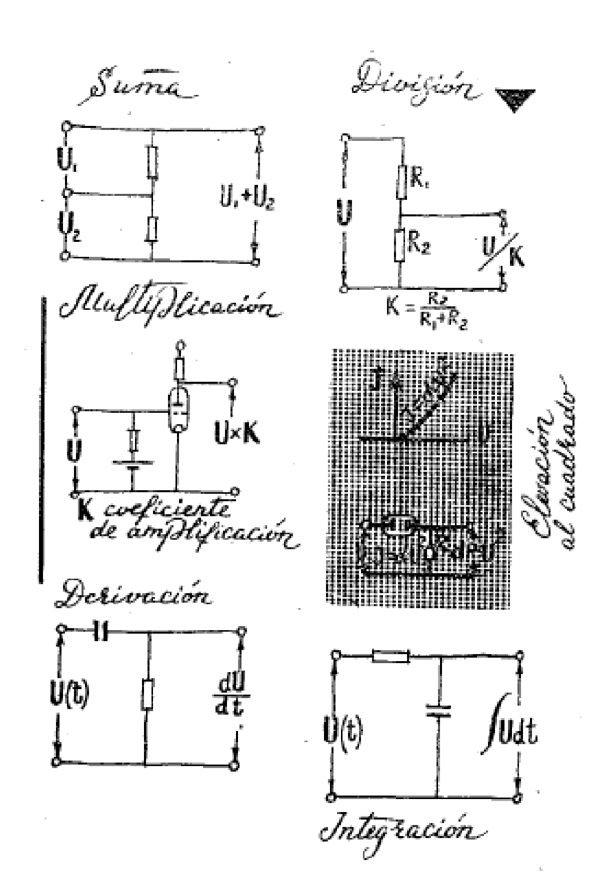


En la pantalla del tubo va instalada una rejilla y cada línea de esta o "escalón" (nivel) va numerada en el sistema binario: la perforación "1", la omisión "0". Cuando la tensión del captador pasa a las placas de desviación vertical, el rayo sube. Después se le obliga a recorrer la línea, y el fotoelemento produce la sucesión de los impulsos. Por ejemplo, en el dibujo el rayo corre por el séptimo "escalón" y elabora la cifra binaria siete (0111), Si crece la tensión en el captador, crece el número del "escalón" (el rayo correrá por una línea más alta).

§ 5.16



Con la ayuda del sistema de numeración binaria se consigue reducir todos los números y todas las operaciones numéricas a una combinación de unidades y ceros. Los triodos-relés pueden sumar, multiplicar y dividir los números binarios de acuerdo a programas, que también representan una sucesión de unidades y ceros.



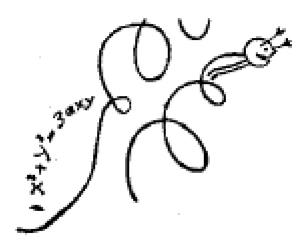
Así es el principio de trabajo de las máquinas computadoras electrónicas de cálculo discreto. La discreción (intermitencia) consiste en que es necesario dividir todas las magnitudes en "escalones" tal como se muestra en el dibujo § 5.15.

§ 5.17

Pero también existen máquinas de acción continua. Estas elaboran las señales que llegan de los captadores sin traducirlas al código binario.

Los diodos, triodos, capacidades y resistencia conectadas en la determinada sucesión, permiten sumar, multiplicar y dividir la tensión eléctrica. Incluso tales operaciones matemáticas complejas como la diferenciación e integración se ejecutan por las sencillas celdas RC.

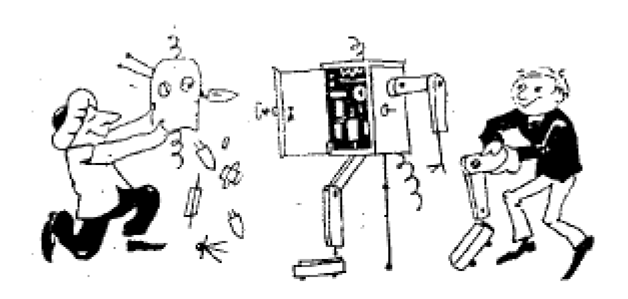
La máquina actúa según ecuaciones, que reflejan un determinado proceso. Por ejemplo, la ecuación de la corriente en el contorno coincide con la ecuación del movimiento del péndulo o la cuerda musical, o sea, mediante el movimiento de los electrones en el contorno migratorio se modela el proceso de oscilaciones mecánicas. (Véase § 3.4). Mediante el movimiento de los electrones es posible crear modelos de proceso más complejos: del vuelo de un avión o un proyectil, del movimiento de los líquidos o gases, de reacciones químicas, etcétera.



Por esto las máquinas de acción continua pertenecen a la clase de las denominadas máquinas modeladoras

§ 5.18

Nos convencemos una vez más que la electrónica disponía de las condiciones necesarias para la creación de las máquinas "inteligentes": actualmente muchos problemas se resuelven con ayuda de los medios elaborados hace tiempo por la electrónica.

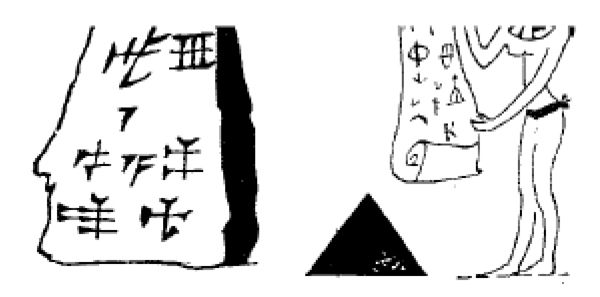


La máquina puede ser extraordinariamente "inteligente" es capaz de traducir textos de un idioma a otro, hacer versos, jugar al ajedrez, calcular la trayectoria de un movimiento complicado, dirigir la producción, estudiar y acumular experiencia y hasta reconocer a una persona de vista. Pero, desmonten cualquier máquina en

"piecitas" y pueden cerciorarse que entre sus elementos no existe nada extraordinario: son los mismos diodos, triodos, tubos electrónicos, imanes, contactos, roles. Solamente mediante la acción conjunta de estos sencillos elementos se obtienen resultados, en los cuales, hasta hace solamente 20-30 años atrás nadie, ni siquiera los más ardorosos amantes de la fantasía se hubieran atrevido a pensar.

El diluvio universal y el Arca Electrónica

Existió un tiempo, en el que todos los conocimientos adquiridos por la humanidad cabían en varias piedras de granito. Posteriormente, la escritura cuneiforme en las piedras fue reemplazada por los rollos de papiro con escritura hecha a mano.



Paralelamente se desarrollaban los medios de ejecución de cálculos: nudos en las cuerdas, tortas en los palos, bolas o piedras que se desplazaban por varillas o canalones.

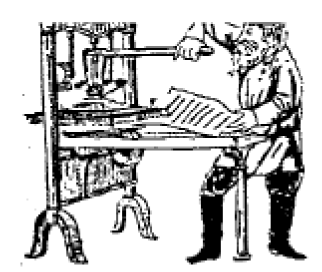
En Rusia desde la antigüedad se utilizaban dispositivos para el "cálculo por bolas" - un prototipo de ábaco de contabilidad. Por cuerdas se desplazaban "bolas". En una de las primeras instrucciones sobre el uso de este ábaco se decía: es mejor en vez de cuerda utilizar alambre de hierro o cobre. La ingeniosidad de estos dispositivos, como ven, no era muy grande.



Pero el flujo de la información rompe por primera vez la presa al aparecer la prensa. Los arroyos de información comienzan a formar amplios ríos. La

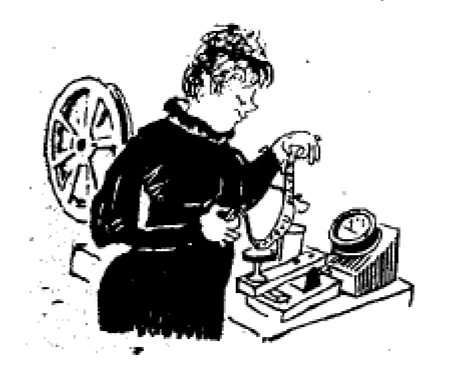
ciencia en desarrollo plantea por primera vez el problema de la elaboración automática de los datos.

Ya en el siglo XVÑ el notable filósofo y matemático Leibnitz intenta resolver este problema con la ayuda que le brindaban los medios mecánicos que tenía a su disposición. Pero la máquina resultó voluminosa y complicada. Esta no estaba destinada a realizar una revolución en la técnica de computación, lo mismo que la máquina creada antes por Blesson Pascal esa y la creada después de Leibnitz el académico ruso Pafnutii Lvóvich Chebishev y por el inglés Charles Babbage. Y todas por una misma causa.



El proceso de computación es por sí mismo bastante complicado. Para ganar tiempo la máquina automática computadora debe disponer de la rapidez de acción de las máquinas electrónicas modernas. Pero esto solo se puede lograr con la ayuda de aparatos electrónicos en los cuales la principal pieza móvil es el diminuto y ágil electrón, que dispone de una masa imperceptible e inercia despreciable.

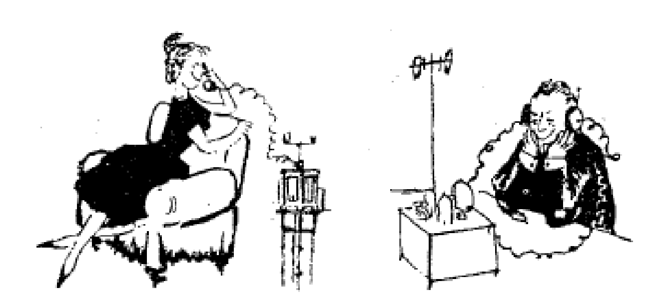
La máquina electrónica, en el transcurso de un segundo, tiene suficiente tiempo para realizar decenas y cientos de miles de operaciones con números de muchas cifras y en un segundo esta puede realizar tales cálculos en los cuales una oficina con cien calculadores invertiría varios días. ¿Acaso sería posible para la mecánica lograr tales resultados, con sus piñones en rozamiento y pesadas palancas, cada cambio de las cuales requiere, por lo menos, parte de un segundo?



Llego el momento, en el que el progreso ulterior de la ciencia y la técnica era imposible sin la automatización del cálculo y sin grandes velocidades de computación.

La prensa, el teléfono y la radio transmiten desde todos los confines de la tierra noticias sobre los logres del siglo. Los trabajos de investigación alcanzaron gigantescas proporciones. Miles de institutos en todos los países resolverían los mismos problemas. Los resultados aparecen mensualmente en las páginas de 50 mil revistas científicas editadas en cien idiomas.

Los éxitos de un hombre rápidamente se convierten en éxito de la humanidad. Todos los dates científicos se comprueban en cientos de laboratorios y se multiplican miles de veces.



Los objetivos técnicos reúnen en sí el complicado complejo de la mecánica, la energética, la química y la electrónica. Ningún ingeniero esta en condiciones de seguir todas las novedades de la técnica necesarias para la creación de máquinas perfeccionadas y modernas. Los cálculos se complican cada vez más. Es necesario resolver cientos y miles de ecuaciones para hacer un pronóstico del tiempo, para calcular las trayectorias cósmicas o para la investigación de las albúminas. El tiempo invertido en hacer cálculos es fantásticamente enorme. Para resolver un sistema de 100 ecuaciones un matemático necesitaría alrededor de 4 años. Un sistema de 1000 ecuaciones lo resolverían 60 generaciones de matemáticos en 4 mil años.

Y, ¿cuántas ecuaciones, en general, necesita resolver la humanidad?

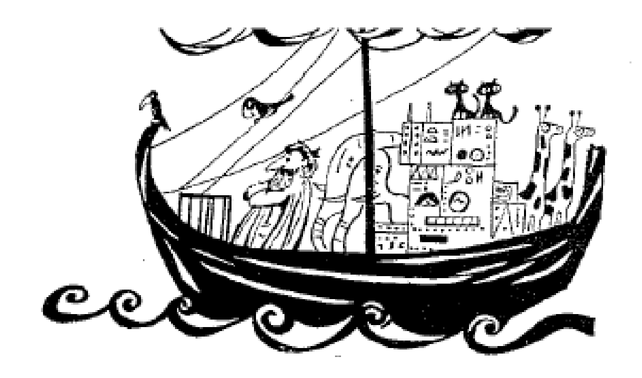
Nuestras medidas habituales son demasiado comunes para imaginarse el enorme volumen de información, que se necesita elaborar para la solución de los problemas científicos contemporáneos. Tomemos, por ejemplo, la cuestión del estudio de los polímeros y las proteínas. Sus moléculas constan de largas cadenas de átomos, y cualquier permutación de las unidades en esta cadena da una nueva sustancia. ¡Si se pudiese tomar un ejemplar de moléculas de cada tipo de cadenas de albúminas existentes en el mundo y hacer con ellas una cuerda, entonces la luz irradiada en uno de los extremos de esta cuerda lograría alcanzar el otro extremo al cabo de 75 años! ¡Téngase en cuenta, que la luz recorre 300 mil kilómetros por segundo!

El océano del conocimiento, no tiene orillas. Todas las informaciones obtenidas deben ser elaboradas, confrontadas, generalizadas, complementadas y clasificadas, puesto que sin esto no sería posible ir más allá. ¿Puede ser que sea necesario detenerse?

No, el intelecto nacido de la naturaleza nunca dejara al hombre en paz, siempre lograra obtener nuevos conocimientos, conquistar los nuevos enigmas del universo, estudiar la estructura de la Metagalaxia y la de los Pi-mesones, ir simultáneamente a lo largo y a lo ancho.



Paulatinamente aumentan las corrientes que fluyen al océano del conocimiento humano. El océano de la información es cada vez más amplio, a la humanidad le amenaza un diluvio universal.



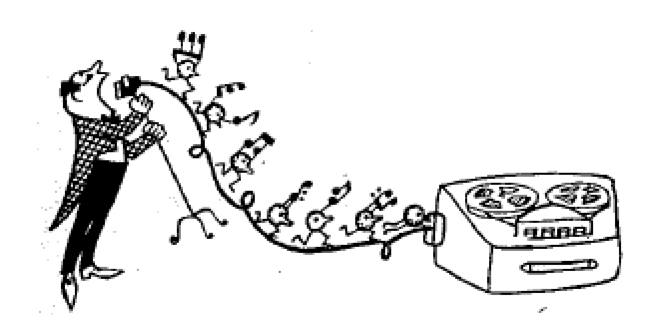
He aquí el porque el hombre crea las máquinas que pueden elaborar las informaciones obtenidas; máquinas capaces de obtener ellas mismas estas informaciones, de confrontar, generalizar, clasificar y comunicar los resultados.
La fuerza del intelecto no tiene límites. El hombre navega con valentía por el océano de los conocimientos creado el mismo, habiendo construido, a semejanza del leyenda Noe, un Arca electrónica salvadora.

§ 5.19

Es por todos conocido que la capacidad de memorar la posee el hombre y en parte los animales. Pero con el surgimiento de la cibernética se hizo evidente que los objetos inanimados pueden disponer de cierta semejanza de memoria. La piedra de granito, hasta ahora, "memora" los acontecimientos grabados en escritura cuneiforme por la mano del hombre. Del mismo modo el libro "memora" los acontecimientos; el palo con los cortes memora el número de caballos o carneros. Todo esto es un sistema de memoria de larga duración.
Pero el ábaco memora los números durante poco tiempo, hasta que concluye el cálculo. En nuestra memoria también existen diferentes "estantes". En unos se acumulan los sucosos de muchos años arras y en los otros, lo que se necesita solamente hoy y mañana: el comienzo de la sesión (cinematográfica), el número de la casa, del vagón, del cupé. A veces, cuando se desconfía en la memoria, recurrimos a la "memoria" de los propios objetos inanimados, por ejemplo, a los nudos en el pañuelo.
En las máquinas computadoras electrónicas la memoria también es de dos formas. Para los cálculos intermedios existe una corta memoria operativa. Los datos finales se guardan en el sistema do memoria de larga duración.
¿Qué representa la "memoria" de las máquinas?

§ 5.20

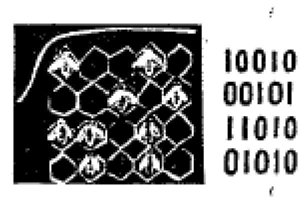
Resulta que la "memoria" también fue elaborada por la electrónica mucho antes de la aparición de las máquinas computadoras electrónicas. Digamos, los equipos para registrar las señales en la cinta magnética. Si queremos tener de recuerdo el aria preferida entonces utilizamos un magnetófono.



Este "almacena" la melodía, la voz del actor con el acompañamiento con mucha más exactitud que nosotros mismos. Además, existe la certeza que la cinta no olvidara durante mucho tiempo el aria registrada.

§ 5.21

Los tubos electrónicos también tienen “memoria”: en efecto, el contorno del impulso, claramente trazado por el rayo durante el primer recorrido, se mantiene durante un cierto tiempo y después desaparece más tarde, con el nuevo recorrido del rayo, la huella se renueva (Véase en el Cáp. I, Las secciones “La huella de los  invisibles” y “Sobre la sierra, el haz y la llave”).



La propiedad del tubo de conservar las imágenes se denomina luminosidad remanente. La luminosidad remanente dura un segundo o parte de un segundo. Puesto que el rayo se mueve con más rapidez que la cinta de la grabadora, el tubo puede “almacenar” mayor cantidad de signos del código binario y más rápidamente que la grabadora. Este radica en la corta memoria (operativa): en ella es posible introducir rápidamente una gran cantidad de datos, pero por un corto plazo de tiempo.

En lugar de una pantalla sencilla en los tubos de memoria se coloca una rejilla de celdas de capacidad, algo parecidos a un panel de abejas. Recorriendo cada línea de la pantalla el rayo transmite a las celdas de capacidad cualquier número. En cada celda se almacena un signo del código binario, “1” ó “0”. La velocidad del resto esta calculada de tal modo, que a la siguiente celda él llega justamente en el momento en que el electrodo modulador del tubo recibe el siguiente signo.

§ 5.22

Al estudiar los esquemas del cálculo binario nos hemos encontrado con otro tipo de memoria: con la cadena de los triggers. (Véase § 5.9).



En efecto, después que los impulses volcaron los triggers, la cadena acumula el número de estos. Pero acumular este número en la memoria de la cadena computadora es muy desventajoso: para esto se requiere una gran cantidad de triggers. Por eso, los números obtenidos en el curso de trabajo de los triggers se transmiten posteriormente a los tubos electrónicos, a esa misma memoria corta que se necesita para recordar solamente los resultados intermedios como, por ejemplo, "ponemos dos y llevamos tres".

§ 5.23

Los números no se pueden acumular por mucho tiempo en las celdas del tubo de memoria. Concluido el cálculo es necesario transmitir el resultado al sistema de memoria de larga duración. Al recorrer las celdas, el rayo transforma sus cargas en impulsos de corriente, la corriente actúa sobre el cabezal del dispositivo de inscripción magnética y el campo magnético del cabezal dejan huellas en la cinta: graban la información. Cuando esta información se necesite, mediante el segundo cabezal la inscripción magnética puede ser transformada do nuevo en impulsos de corriente.

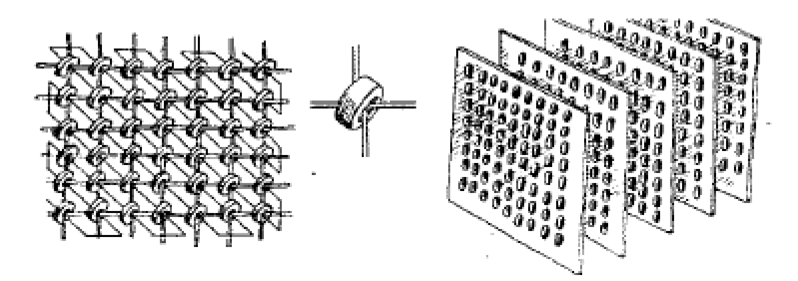


No obstante, esta memoria tiene un inconveniente: si el número necesario se ha grabado al final de la cinta, entonces para sacarlo de la memoria, debe enrollarse toda la cinta en otro cilindro. Semejantes búsquedas de datos en el sistema de memoria de larga duración exigen mucho tiempo, por esto el registro magnético es algo así come un fondo de biblioteca: aquí se almacena lo que se necesita no tan frecuentemente, pero si en cambio sirve durante mucho tiempo.

§ 5.24

Una amplia difusión tuvieron los bloques de memoria ferrítica. A diferencia de los tubos o de las cintas magnéticas esta memoria fue elaborada especialmente para las máquinas computadoras electrónicas.

La ferrita es una mezcla de óxido ferroso con óxido de otros metales. Este material posee, magníficas propiedades magnéticas. Los anillos ferríticos se montan en una reja especial. Si a las barras verticales y horizontales (conductores) llegan simultáneamente las señales, el anillo que se encuentra en la intersección de las barras, cambia su posición magnética, el signo "0" se cambia por el signo "1".

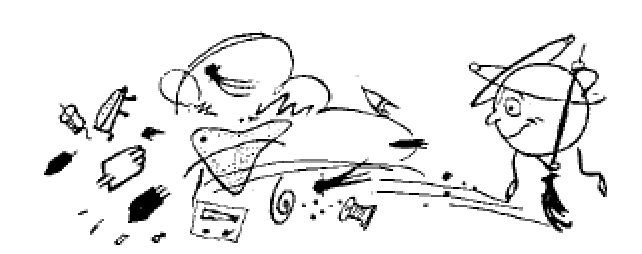


Para el cálculo numérico existe una tercera barra, el conductor que pasa por la diagonal de la rejilla.

En los últimos tiempos en lugar del completo de anillos se utilizan láminas ferríticas con orificios. La distancia entre los orificios se escoge de forma tal, que el campo magnético alrededor de cada uno de los orificios no influye sobre los restantes. Gracias a esta construcción de la memoria sus dimensiones fueron disminuidas en varias veces.

§ 5.25

Esforzándose por hacer una memoria lo más compacta posible, los especialistas prueban a "enseñar" el cálculo binario incluso a los átomos" de las diferentes sustancias. Al átomo excitado le correspondo el signo "1", al no excitado, el "0".



¿Qué se necesita de la electrónica?

En el transcurso del estudio de los elementos do las máquinas “inteligentes", muchas veces llegamos a la conclusión: la electrónica dispone de todos los medios para la creación de tales máquinas. Además, estos estaban preparados de antemano porque desde hace tiempo en la localización se aplican los tubos, los impulsos, los diodos y triodos, así como los triggers.

Pero el lector puede formarse una impresión errónea, como si al lograr la “alta sociedad”, la electrónica pudiese dormirse en los laureles. Esta puso todos sus elementos a disposición de la cibernética y que sea ahora cibernética la que se encargue de cómo utilizarlos mejor, que programas elaborar, cómo unir los elementos para la ejecución de estos programas.

Pero en la realidad las cosas no se ajustan de ninguna forma a esto. La aparición de las máquinas computadoras electrónicas (MCE) sirvió de tan grande acicate al desarrollo de la electrónica, que ahora todas las etapas anteriores parecen ser el periodo de la tierna infancia.

Pero, ¿qué es propiamente lo que aún se exige de la electrónica, si ésta dispone ya hace tiempo de todos los elementos necesarios?

Si, dispone, pero los elementos se diferencian entre sí. Se puede construir la computadora con tubos ordinarios, pero en realidad, en toda la técnica de computación moderna no se utilizan tubos al vacío, sino semiconductores. Los tubos resultaron demasiado voluminosos, consumen mucha energía y frecuentemente quedan fuera de servicio. Mientras que la electrónica creaba radiorreceptores especiales y corrientes, transmisores e instrumentos de medición, en los que la cantidad de tubos se contaba por unidades o decenas, todavía se podía hacer caso omiso de los inconvenientes de los tubos al vacío. Pero cuando surgieron las máquinas, en cuyos esquemas se utilizan cientos de miles de diodos y triodos, los inconvenientes de estos constituyen un obstáculo en el desarrollo de las MCE.

Si cada tubo de los cientos de miles que se usan en una máquina calculadora puede trabajar cientos de horas, entonces la máquina quedara fuera de servicio varias veces al día a causa del fallo de un tubo cualquiera. Como resultado, ella estará la mayor parte de su vida en reparación y no podrá realizar ningún cálculo complejo

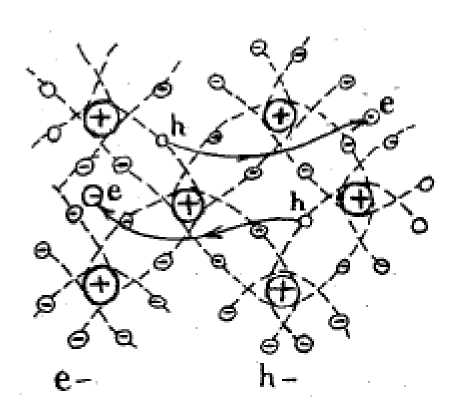
hasta el fin. Evidentemente, es posible elevar la fiabilidad del trabajo, si a cada bloque se adiciona un doble y se hace como en un teatro respetable: al enfermarse el actor principal, su papel lo interpreta el doble. Pero esto tampoco es una salida: si una máquina a base de tubos ocupa varias habitaciones, entonces, ¿qué área se necesita en el caso que se montó hace en esta adicionalmente la misma cantidad de tubos dobles?

¿Y el problema de la potencia a consumir? Pues, para la alimentación de una máquina semejante se necesitaría Tuna central hidroeléctrica, la cual podría alimentar con energía eléctrica a varias ciudades

Para resolver esta situación existe una sola salida: las máquinas electrónicas deben ser construidas a base de semiconductores.

§ 5.26

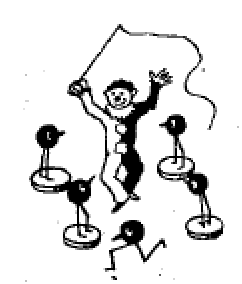
Ya se habló, muchas veces de los electrones libres que existen dentro de los metales. Pero en los aisladores y en los cristales semiconductores a bajas temperaturas no existen esos electrones. Estos aquí están relacionados con los átomos.



Por ejemplo, en los cristales de germanio la capa exterior de cada átomo esta formada por 4 electrones enlazados. Al mismo tiempo, sobre cada uno de los electrones actúan las fuerzas de los átomos vecinos. Los cuatro átomos vecinos "paralizan" la libertad de movimiento de cada electrodo por cuatro lados distintos.

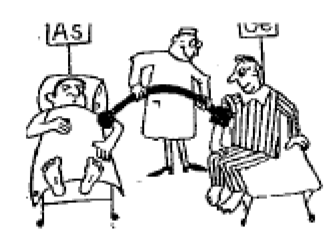
§ 5.27

Pero, en esta estructura penetra un átomo extraño de una impureza que tienen su capa exterior no 4, sino cinco electrones.



El átomo ajeno se coloca un modo de la red del cristal, además, cuatro de sus electrones encuentran enseguida siquiera la estructura representada en el dibujo § 5. 27. Pero resulta que el quinto electrón aquí no tiene ocupación. La impureza, cuyos átomos poseen electrones "sobrantes " se denomina impureza donadora. Para el germanio o el silicio puedan servir de impureza donadora el arsénico y el antimonio.

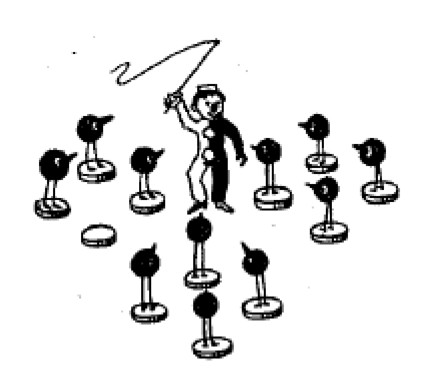
§ 5.28



La "inyección de sangre", obtenida de la gran cantidad de átomos donadores ofrece al cristal de germanio posición los electrones libres.

Con la alimentación de una atención exterior "la sangre" comienza a circular por el cristal, en el cual comenzará a circular corriente eléctrica.

§ 5.29



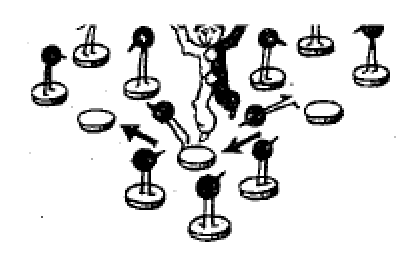
Como impurezas se pueden utilizar el indio, el cual tiene la capa exterior del átomo tres electrones y no cinco. Los tres electrones del átomo de indio encuentran lugar en la estructura del cristal, pero faltará un electrón.

A este “lugar vacío” los especialistas lo denominaron hueco.

La impureza que crea huecos en la estructura del cristal se denomina impureza de aceptor.

§ 5.30

Allí, donde surgió el hueco la carga del núcleo del átomo no estará equilibrada y dicho átomo resultara con una porción excesiva de carga positiva. El átomo cargado

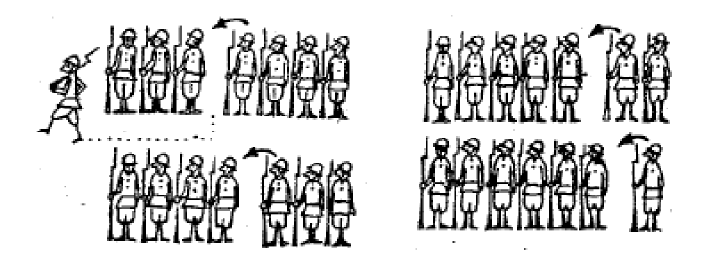


positivamente atraerá hacia sí electrones de todas partes. El más próximo de éstos ocupa el lugar vacante. En el átomo en cuestión desaparece el hueco. Pero se produce un hueco en aquel átomo, del cual acaba de pasar el electrón.

Con el nuevo hueco ocurre lo mismo que en el caso anterior: el lugar que deja el electrón es rápidamente ocupado por otro. Ahora el hueco se desplaza hacia el siguiente tercer átomo, y nuevamente del próximo cuarto átomo acude un electrón. Los electrones ocuparan sucesivamente el lugar vacante, y este mismo lugar se desplazara a su encuentro.

§ 5.31

Eso mismo sucede en el caso en que uno de los soldados del flanco derecho abandona la fila, y los restantes a la orden de "cierren filas" comienzan a restablecer la fila cerrada.



Los soldados sucesivamente dan un paso hacia la derecha, y el lugar vacío se desplaza hacia el flanco izquierdo. De esta misma forma se desplazan en el cristal los huecos.

§ 5.32

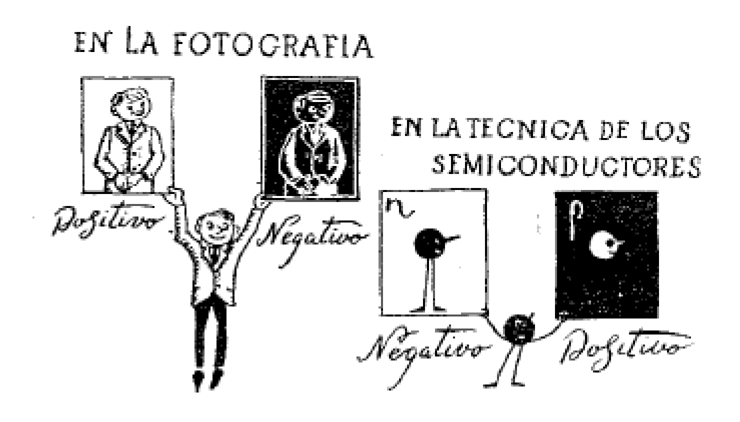
El propio hueco no contiene carga. Pero en el lugar donde este se forma, la carga del &tome esta en desequilibrio, ya que aquí falta un electrón. O sea, allí donde hay un hueco, existe una porción de carga positiva. Si los huecos se desplazan, entonces junto con ellos, coma la sombra, se desplazan también las cargas positivas. Así se produce la original corriente por huecos.



El campo que surge en el cristal, bajo la acción de la tensión aplicada a este, regula este movimiento: los electrones se dirigen hacia el electrodo positivo, llenando los huecos que encuentran en su camino. Los huecos se desplazaran a su encuentro, hacia el electrodo negativo.

§ 5.33

Se dice, que el cristal abastecido de electrones sobrantes mediante impurezas donadoras posee n-conductibilidad; en el caso dada, n significa que la conductibilidad depende de las cargas negativas.



Con la existencia de huecos surge la p-conductibilidad; p significa positiva.

Ni fu ni fa

¿Vale la pena hablar aquí acerca que en toda una serie de aparatos electrónicos, en lugar de tubos se utilizan actualmente semiconductores? Es dudoso que pare alguien esto constituya una revelación. Sobre esto se puede oír en todas partes. Usted se encuentra en los trenes, en los parques, en las calles con gente joven con receptores portátiles, cuya correa pasan negligentemente por el hombro con una marcada elegancia. Habitualmente a dicho receptor actualmente se le llama

transistor, aunque el transistor, en realidad, no es, en esencia el propio receptor, sino los aparatos que se utilizan en él en lugar de los tubos de radio.

Todo esto, evidentemente, desconocido. Pero ¿por qué, en virtud de cuáles de sus propiedades, los semiconductores encontraron tan amplia aplicación? Y, ¿por qué, precisamente, "semi"?



Desde que la técnica se dedico a la electricidad, empleaba materiales de dos categorías: aisladores y conductores. Los conductores son muy útiles para la transmisión de la corriente: para este fin, de los materiales que ofrecen poca resistencia a la corriente (cobre, aluminio, plata) se fabrican conductores eléctricos. Pero, para que el conductor no produzca cortocircuitos y fa corriente fluya en una dirección, cada conductor se cubre de un material que no deja pasar la corriente. He aquí el porqué los aisladores también encuentran aplicación desde el momento en que el hombre utiliza la corriente eléctrica.

El conductor se hace de metal. Además de los metales, son conductores los gases y soluciones de sal. (Véase § 1.12 y § 1.13.)

Son aisladores, la porcelana, la cerámica, el vidrio, la goma. El aire también es un aislador, por eso es necesario deshacerse de él para que en el balón de vidrio de los tubos de radio pueda circular la corriente eléctrica (Véase § 1.14).



Se conocían también materiales, que por sus propiedades no pertenecen ni a una ni a otra categoría. Se denominaron semiconductores, aunque, con el mismo éxito podían haber sido -llamados también semiaisladores. Estas sustancias conducen la corriente algo mejor que los aisladores y, al mismo tiempo, mucho peor que los conductores; en resumidas cuentas, son malos aisladores y malos conductores. Tales propiedades las poseen los elementos puros: el silicio, selenio, germanio y telurio. Existen composiciones químicas que poseen también esas mismas propiedades, por ejemplo, los oxides de algunos metales, composiciones del azufre (sulfidos) o del selenio (seleniuros). Algunas aleaciones de metales se comportan también como semiconductores.

Así como en los aisladores, en los semiconductores todos los electrones están solidamente enlazados a los átomos (véase § 5.26). Con el calentamiento de los cristales semiconductores algunos electrones, sin embargo, logran evadir la influencia de los átomos. Puesto que no son muchos esos electrones, la corriente, que se produce en el cristal semiconductor calentado, será muy pequeña.

Todo lo mencionado es conocido desde hace tiempo. Las propiedades del germanio ya las había presagiado Mendeleiev, que, a propósito, fue quien lo descubrió. Lo denomine Ecasilicio. Con esta denominación Mendeleiev quería subrayar el parentesco de este con el silicio.

El científico alemán Winkler investigó detalladamente las propiedades del germanio y en honor de su patria le dio el nombre, que posee hoy en día.

Es evidente que los químicos necesitasen investigar el germanio y el silicio. Pero ni la electrotecnia, ni la electrónica durante largo tiempo mostraron interés por ellos. Y esto es natural: ¿Para qué necesitaban un material que no puede servir ni como aislador seguro de la corriente, ni como buen conductor? Así, algo intermedio "semi-semi", ni vela a Dios, ni atiza al diablo.

El secreto del punto mágico

La electrónica se interese por el germanio y silicio posteriormente. Al principio, no obstante, encontraron aplicación algunos oxides, en particular, dos cristales: la zincita y la calcopirita. Se reveló, que estos cristales poseen una cualidad maravillosa: pueden servir de válvula, rectificar la corriente eléctrica (Para los que

han olvidado en que consiste la propiedad de las válvulas en los diodos, les recomendamos que vean de nuevo el capítulo § 1.16). Y si es así, se pueden utilizar para la detectación: para separar de las señales portadora la corriente de frecuencia sonora.

Así se hizo. Es extraño, pare en los primeros radiorreceptores para la detección no se utilizaban los diodos, sobre los cuales hemos hablado tanto, sino que los verdaderos semiconductores. Pero, ¡cuanto ajetreo hubo con ellos!

Fue necesario buscar al tacto en el cristal con una aguja muy fina, con un filo de la décima parte de un micrón, el punto maravilloso. Apenas se desplaza la aguja hacia un lado, desaparece el sonido. Se necesita gastar no poco tiempo para, nuevamente, hallar el punto necesario del cristal. DOnde debe encontrarse ese punto y en que radica el secreto de su fuerza mágica, nadie, en aquel tiempo, lo podía señalar. Y Dios nos salve de "arrancar" durante la búsqueda este punto mágico con la punta de la aguja, un punto semejante más en el cristal puede ser que no existe. La aguja se montaba sobre un muelle para que hiciese contacto "suave" con su filo sobre el cristal.

Fueron pocos los que pudieron adiestrarse para realizar esta operación. A peso de oro se valoraban en ese tiempo, en los estados mayores de los ejércitos, los "escuchas" que dominaban a la perfección el fino arte de la búsqueda del punto encantado. Todos suspiraron con gran alivio, cuando, posteriormente aparecieron los triodos, que permiten amplificar las señales muy debilitadas por las grandes distancias recorridas. Los tubos comenzaron a aplicarse en todas partes y de los cristales nadie más se acordó.

Quedo sin aclarar, porque solo ciertos puntos del cristal podían distinguir las señales sonoras y porque en general estos cristales detectaban la señal.

Una de las espiras de la espiral

La dialéctica afirma, que el desarrollo marcha en espiral, moviéndose por las espiras de abajo hacia arriba. Llega un momento cuando las ideas de tempos anteriores empiezan a interpretarse en forma nueva en virtud de que, para este momento la ciencia tuvo tiempo de escalar una "espira" más. Precisamente, así ocurrió con los cristales.

Durante mucho tiempo los diodos de los tubos satisfacían las necesidades de todas las ramas de la técnica. Pero a medida que la localización subía por una gama de frecuencias más y más arriba, el ordinario diodo la satisfacía cada vez menos. Entre el cátodo y el ánodo del diodo existe una capacidad parásita ya conocida por nosotros. Aquí pasó lo mismo que con el tríodo: cuanto mayor es la frecuencia mayor es la influencia de la capacidad y, en la gama centimétrica, dicho diodo, en general, no podía trabajar. Es aquí cuando vienen a la memoria los cristales.

Además, hubo todavía otro caso, cuando los cristales adquirieron popularidad. En el año 1924 el científico Oleg Vladfmirovich Lósev, del laboratorio de Bonch-Bruevich de Nizhni Nóvgorod, (ahora Gorki), por primera vez en la historia de la electrónica obtuvo la amplificación sin la aplicación de tubos. La base del aparato, al que Lósev denominó kristodino, era un cristal semiconductor. Este acontecimiento fue muy notable. La revista norteamericana "Radio News" informó sobre esto en un articulo bajo el título "Descubrimiento sensacional". Otras revistas llamaron al kristodino "una invención que hace época" y pronosticaron que los cristales con el tiempo ocuparían el lugar de los tubos de vacío.

Pero, en aquellos años no sucedió eso. El tubo satisfacía todas las demandas, el periodo de florecimiento de la técnica del vacío aún sólo comenzaba y cada año las técnicas descubrían nuevas y nuevas propiedades y posibilidades inesperadas de los tubos de vacío.

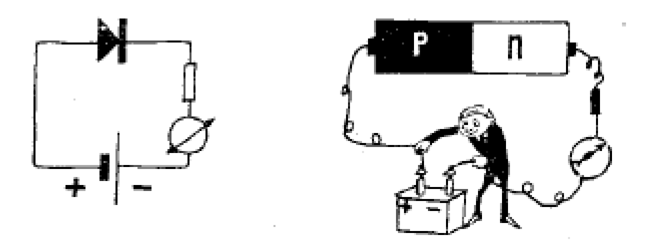
En lo que concierne a los cristales semiconductores, la ciencia en ese tiempo solo empezaba a estudiar su estructura, y la técnica todavía no podía crear cristales puros, sin impurezas para las necesidades de la electrónica. Por lo general, el desarrollo de la técnica de los cristales semiconductores, que se inicia con los primeros receptores, en este tiempo todavía no había escalado la primera "espira".

Después de dos décadas la localización planteó el problema de una forma nueva: ¡en base al cristal debe crearse un nuevo detector para frecuencias super altas! Para este tiempo la ciencia acumule una importante información sobre los cristales. Los físicos ya comprendían que en los cristales era posible producir una corriente de diferente naturaleza: o un flujo de electrones negativos, o un movimiento de cargas positivas, que surge gracias al desplazamiento de los huecos (véase § 5.27-§ 5.32).

Y solo entonces se hizo comprensible en que radicaba la fuerza del punto mágico, el que con tanta dificultad tenían que buscar los "escuchas".

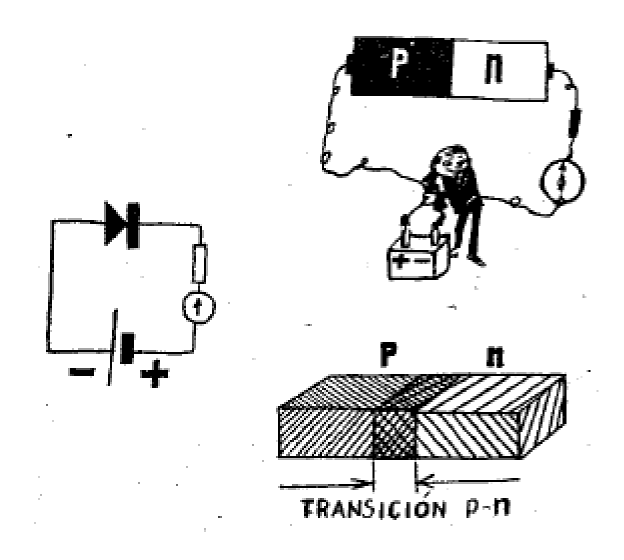
§ 5.34

Para crear un diodo semiconductor es necesario empalmar dos cristales. Uno de ellos debe poseer n-conductibilidad, el otro, p-conductibilidad (véase § 5. 33).



Tal dispositivo puede servir come válvula no peor que el diodo de tubo (véase § 1.16). Si se conecta el “más” de la fuente de tensión al cristal con p-conductibilidad y el “menos”, a su pareja, entonces, a través de la línea de separación de los cristales circulará corriente.

§ 5.35



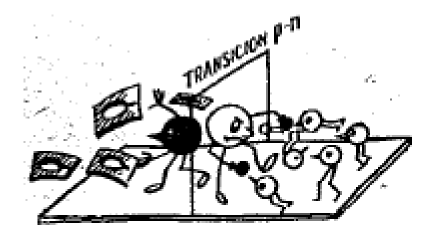
§ 5.36

En la línea de separación de los cristales que poseen n- y p-conductibilidad surge una zona especial denominada "transición p - n". El grosor de la transición p - n constituye décimas partes de micrón y, sin embargo, precisamente esta fina capa desempeña el papel más importante en la técnica de los semiconductores.

§ 5.37

Cada uno de los átomos-donadores, después de dar uno de sus cinco electrones, deja de ser neutral y se convierte en un ion positivo.

Los aceptores por el contrario. Estos son propensos a añadir a sus tres electrones un cuarto electrón y convertirse en un ion negativo.

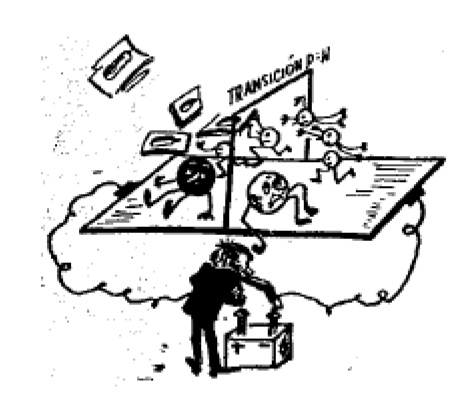


Estos iones son los que se agrupan en la zona de la transición p - n.

Los electrones negativos "empujan" en su lado a los electrones libres, y los electrones positivos obstaculizan el movimiento de los huecos. De esta forma, la zona de transición p - n representa una especie de barrera para los electrones y los huecos.

§ 5.38

Mediante la conexión directa del diodo de cristal el "más" de la fuente se conecta por la parte de p-conductividad, el "menos", por la parte de n-conductividad.



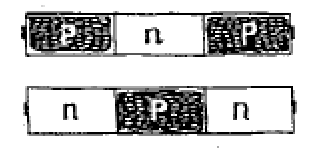
El "más" de la fuente "empujan" las cargas positivas hacia la zona de transición p - n y les ayuda a superar esta barrera. De esta misma forma, el "menos" de la fuente ayuda a moverse a los electrones.

Los dos flujos de cargas van al encuentro uno del otro y a través del diodo circula corriente eléctrica (Véase § 5.34).

Con la conexión contraria los polos de la fuente de tensión "arrastran" a los electrones y huecos en distintas direcciones, la barrera se hace insuperable, la corriente no circula a través del diodo (véase § 5.35 y § 5.37).

§ 5.39

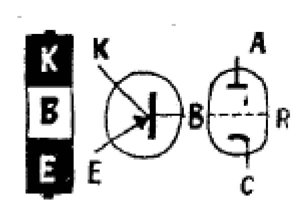
El tríodo semiconductor posee dos transiciones p - n.



Las zonas con n- y p-conductibilidad pueden alternarse de distinta manera, por eso se distinguen dos tipos de triodos: p - n - p y n - p - n.

§ 5.40

El papel de citado en el tríodo semiconductor lo desempeña el emisor E. Este es la fuente de todas las cargas, cuyo movimiento produce corriente. El colector K es análogo a un ánodo. El papel de rejilla lo desempeña la base B.



Con la amplificación, la señal se transmite a la sección E - B (entre el emisor y la base). Al conectar la carga (resistencia) a la sección B - K (base-colector) se puede extraer de esta carga la señal amplificada por el tríodo.

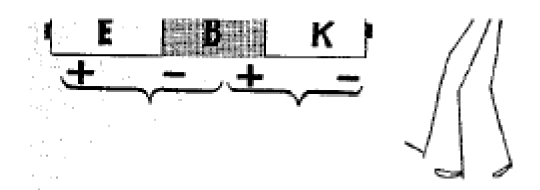
¿A cuenta que ocurre aquí la amplificación?

§ 5.41

La sección E - B se comporta come una válvula abierta: la batería exterior ayuda a los electrones y a los huecos a romper la barren (lo mismo que en el dibujo § 5. 34).

La sección B - K es semejante a una válvula cerrada: la batería impide el paso de los portadores a través de la barrera (igual que en el dibujo § 5. 35).

Como resultado, la resistencia en la sección E - B será absolutamente insignificante y en la sección B- K muy grande.



§ 5.42

La corriente que pasa a través de las dos barreras se mantiene casi inalterable. Más exacto, está a veces disminuye debido a que algunos electrones se mezclan con los huecos, llenando los "sitio vacío". Este fenómeno se denomina recombinación.

Generalmente a la recombinación se someten, nomás de un 3% de las cargas. Esto significa que la corriente del paso B-K contiene 127% de la corriente de la sección E-B. Al mismo tiempo, la resistencia del paso B-K (válvula cerrada) es diez ese mayor que la resistencia del paso E-B (válvula abierta).

Así, la corriente es casi idéntica, la resistencia de salida desde escenas de veces mayor que la resistencia de entrada. O sea, según la ley de Ohm la tensión de la señal en la salida superará a la tensión de la señal de entrada en decenas de veces.

Con esto se explica la amplificación.

¿Qué buscaban los "escuchas"?

En el tiempo en que los "escuchas" dominaban el arte de la búsqueda del punto mágico, se consideraba que la rectificación de la corriente ocurre en el límite del cristal con el metal; o sea, en el lugar donde la punta de la aguja choca con el cristal. Pero, resulta que la rectificación y la detección ocurren a menudo de otra forma. La superficie del cristal, a cuenta de la acción del oxígeno y la humedad del

aire, se cubre con una película de óxido. En algunos cristales debido a una feliz casualidad, esta película tiene también propiedades semiconductoras. Además, para la rectificación su conductibilidad debe diferenciarse de la del propio cristal: si en los cristales predominan los electrones libres (-conductibilidad), entonces la película de óxido debe poseer p-conductibilidad. En ese caso, el cristal con la película de óxido forma una válvula semiconductora, la cual se muestran el dibujo § 5. 34.

La película de óxido surgió en virtud de influencias fortuitas, nadie conocía su importancia, nadie observó hasta qué punto la capa que recubre el cristal, es sólida y lisa. Naturalmente, que debido a estas condiciones se podía, solo por casualidad, encontrar ese punto, donde la película es fina y resistente y forma el propio cristal la transición p - n. Bastaba con rayar con la aguja esta capa fina y la transición desaparecía, el cristal dejaba de rectificar. De aquí la aparición del muelle y la larga búsqueda del punto encantado con el delicado frote de la punta de la aguja.

Se intento en esa época hacer también diodos pianos juntando dos cristales diferentes: zincita y calcopirita. Y de nuevo, en virtud de una superficie de óxidos en malas condiciones, que garantiza la p- y n-conductibilidad, la rectificación se realizaba no en toda la superficie plana, sino en puntos separados.

Todo esto fue comprensible mucho más tarde, cuando los receptores detectores primitivos ya hacia tiempo que habían cedido su puesto a los tubos superheterodinos, y los "escuchas" se habían hecho radistas de primera categoría y garantizaban una comunicación segura con cualquier punto de la tierra. Pero para ese tiempo surgió la necesidad de solucionar un nuevo problema: la creación de un detector de cristal para la gama de ondas centimétricas.

Para ese tiempo los físicos que se ocupaban de los cuerpos sólidos ya conocían Bien la naturaleza de los cristales y los fenómenos eléctricos que tensan lugar en los semiconductores. Hizo un gran aporte a estas investigaciones el científico soviético, Académico, Abraham Fedorovich Ioffe, los científicos japoneses Torikata y Yokohama, el alemán Karl Braun y el inglés Ikels.

La técnica aprendió a obtener cristales puros de germanio y silicio y posteriormente a añadir a estos las impurezas necesarias para crear la n-conductibilidad o la p-conductibilidad.

Para tener una idea de lo que costó esta victoria, basta citar las siguientes cifras: los cristales empleados para la creación de aparatos semiconductores se admite solamente ¡un átomo de impurezas innecesarias para cada mil millones de átomos de germanio o un átomo de impurezas para cada billón de átomos de silicio! Precisamente a base de estos cristales extra puros con n- y p- conductibilidad se crean los aparatos que realizan la función de los tubos electrónicos; el diodo semiconductor (véase § 5.34), y el tríodo semiconductor (véase § 5. 40). El primer tríodo semiconductor fue creado por los físicos norteamericanos Bardeen y Brattain en el año 1948. En un cristal de germanio con n-conductibilidad fueron soldados dos contactos de punta con p-conductibilidad. Posteriormente, estos triodos fueron denominados de punta, a diferencia de los pianos (véase § 5.36).

El primer tipo de tríodo piano fue creado por el físico norteamericano Shockley en el año 1951.

El` mundo supo apreciar el significado de estos descubrimientos. El premio Nóbel otorgado a los tres creadores de los primeros triodos semiconductores caracteriza esta importante etapa.

Después de la aparición de los triodos semiconductores, todos los diseñadores de aparatos electrónicos comenzaron a olvidarse de los tubos a vacío y, por todas partes, donde esto era posible, concedieron las primicias al semiconductor. Pues, aparte de sus pequeñas dimensiones, los semiconductores poseen toda una serie de otras ventajas. Ellos gastan mucho menos energía y poseen un servicio más largo que los tubos a vacío, aproximadamente de diez veces.

El diodo o el tríodo semiconductor no necesitan filamento de incandescencia sin el cual no funciona ningún tubo electrónico. Esta pequeña pieza acarrea grandes consecuencias. Casi la mitad de la energía consumida por los tubos electrónicos es destinada a calentar su filamento.

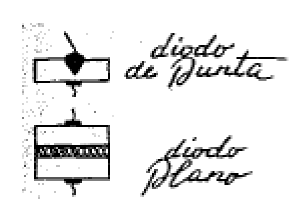
Al conectar y desconectar los tubos el filamento se calienta y se enfría. Semejantes "conmociones" lo ponen fuera de servicio mucho antes que otras piezas pertenecientes al tubo. “Siempre se rompe la cuerda por lo más delgado” dice el refrán. En el tubo electrónico se rompe, antes que todo, el delgado filamento. Y cada fallo del tubo electrónico resulta muy desagradable, puesto que el equipo queda fuera de servicio y no es tan sencillo encontrar cual de las numerosas

decenas de tubos (y en las máquinas electrónicas, de los muchos miles) fallo en el caso dado. Solamente esta ventaja (ausencia de incandescente sea) es suficiente para que todos los casos, cuando esto sea posible, los especialistas prefieran los aparatos de semiconductores al aparato electrónico a vacío. Y si se toman en consideración su elevada estabilidad, sus pequeñas dimensiones y peso insignificante, esto hace totalmente evidente que can el surgimiento de los aparatos semiconductores la electrónica ha experimentado su segundo nacimiento: en su desarrollo se inicia una nueva y fructífera etapa.

Con ayuda de los semiconductores

§ 5.43

Los contactos de punta, usados en los diodos semiconductores, reemplazaron a la aguja y al resorte, que dieron mucho que hacer a los "escuchas".

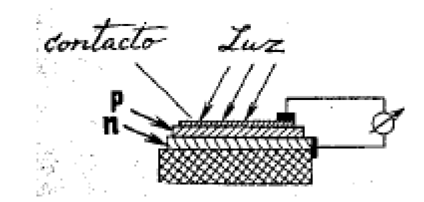


Los diodos con contactos de punta son prácticos para la detección a frecuencias ultra elevadas, porque la capacidad del contacto de punta es extraordinariamente pequeña. En cambio, ellos tienen una deficiencia: a través de este contacto no se puede hacer circular una corriente de gran amperaje.

Para la detección de las señales potentes y la rectificación de una corriente de gran amperaje fueron creados los diodos planos. La capacidad de estos diodos es considerablemente mayor, pero permiten circular corriente de hasta dos mil amperios.

§ 5.44

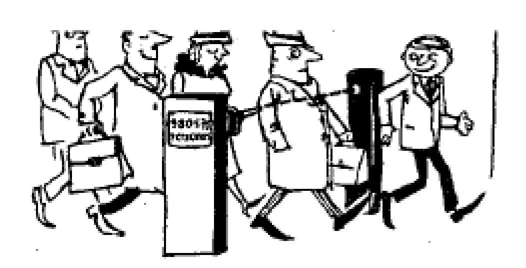
El diodo semiconductor encontró su aplicación en múltiples ramas. Se utilizan



ampliamente los, así denominados, fotodiodos, los cuales transforman la energía luminosa en corriente eléctrica.

En muchos talleres las "mirillas" dotadas de fotodiodos, garantizan la seguridad del obrero: si por distracción éste alarga su mano hacia la zona de peligro el haz se interrumpe, y la señal del fotodiodo instantáneamente, para el torno.

Los fotodiodos en combinación con los contadores de impulsos eléctricos se utilizan en las fabricas Clara Zetkin y Karpov, para el control cuantitativo del jabón y de los cigarrillos.

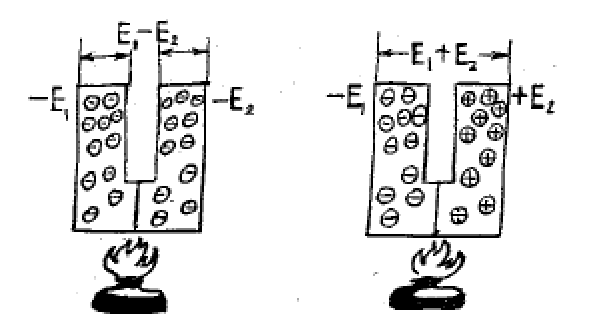


De este modo se puede llevar la contabilidad de todo lo que se desee: de los fósforos, agujas, ruedas de automóviles o la cantidad de pasajeros en el metro. La "mirilla" puede librar a la cinta transportadora de ciertos desechos; si una de las piezas no tiene los orificios necesarios, la "mirilla" envía la señal a la máquina automática y esta retira la pieza de la cinta.

§ 5.45

Gracias a los semiconductores la técnica adquirió la posibilidad de obtener energía eléctrica directamente del calor.

Antes de aparecer los transformadores semiconductores ya eran conocidos los termopares metálicos.



Durante el calentamiento de las barras metálicas los electrones, desprendiéndose de las capas atómicas adquieren su libertad (Véase § 1.8). Con el aumento de la temperatura los electrones se mueven con más energía, se encuentran apretados, y se precipitan hacia los extremos fríos. Las barras conductoras del termopar son de diferentes metales, por esta causa, las cargas en los extremos sarán algunos de signo ("menos"), pero diferentes por su magnitud (en un extremo el "menos" es grande y en el otro el "menos" es pequeño), surgiendo entre ambos extremos una diferencia de potencial ($E_1 - E_2$).

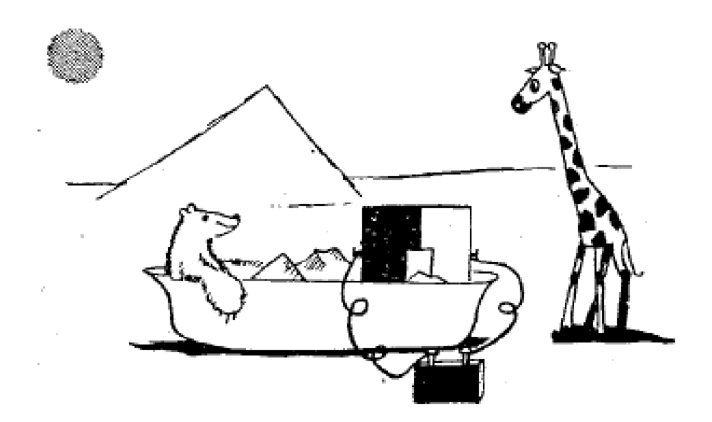
Si en lugar de metales se emplean barras semiconductoras con (p) y (n) conductibilidad, entonces en uno de los extremos se acumularán electrones y en él otro huecos. La diferencia de potencial será significativamente mayor, que en el caso del termopar metálico, debido a que en uno de sus extremos se crea el signo "menos", y en el otro el "más".

Por este motivo el rendimiento del termopar semiconductor es aproximadamente 50 veces mayor que el del metálico.

§ 5.46

En la naturaleza existen multitudes de fenómenos reversibles.

La electrónica también utiliza la reversibilidad. En unos aparatos la corriente engendra un campo magnético y en otros, bajo la acción de un campo magnético alternativo, se genera corriente eléctrica. La reversibilidad es inherente a los termopares.



La diferencia de temperatura son los extremos de las barras semiconductoras o metálicas conduce al surgimiento de una diferencia de potencial eléctrico (véase § 5. 45). Si procedemos al contrario y aplicamos a los extremos del termo para una diferencia de potencial, obtenida de fuentes de tensión externas, entonces en los lugares de soldadura de las barras semiconductoras o metálicas surge una diferencia de temperaturas.

Experimentos semejantes fueron realizados por el académico Lents: ante los ojos asombrados del público (él dictaba entonces conferencias en Petersburgo) con la ayuda de un termo par metálico, Lents transformó una gota de agua en una bola de hielo.

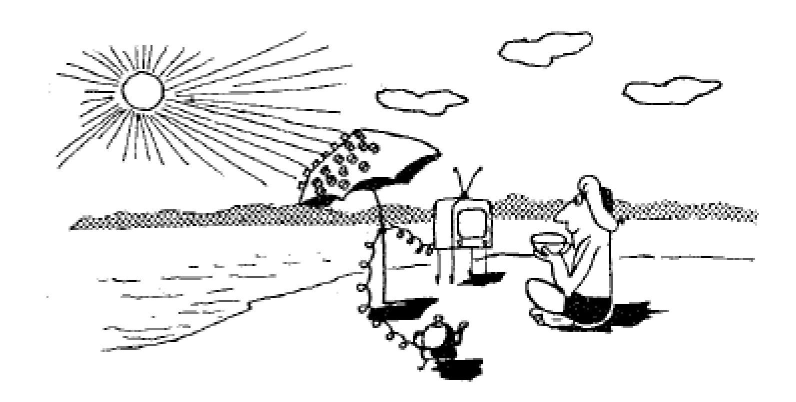
No obstante, con la ayuda de los termopares metálicos se puede crear una diferencia de temperaturas, solamente en unos cuantos grados. Sin embargo, el termo par semiconductor puede asegurar estos altos a una temperatura de 60 grados. Esta cifra ya es considerable.

§ 5.47

Los semiconductores ofrecieron la posibilidad de transformar en electricidad las diferentes formas de energía radiante, los rayos radioactivos, térmicos, luminosos y, en particular, los rayos solares.

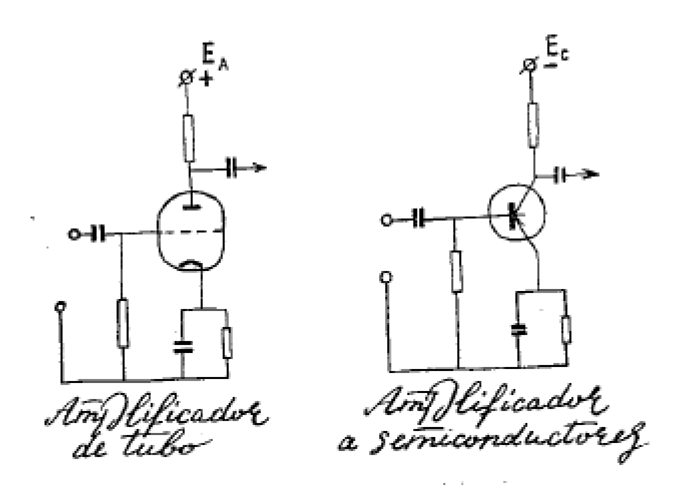
Las baterías solares son muy cómodas para los satélites: en el cosmos nunca esta nublado. Las nubes se quedan abajo.

Si se coloca un diodo semiconductor junto a un material radiactivo recibiremos una pila atómica, la cual es capaz de producir energía eléctrica durante muchos años.



§ 5. 48

Los triodos de cristal hicieron una verdadera revolución en la técnica. No merece asombrarse de esto; ¿recuerden cuantas posibilidades ofreció en un tiempo el tríodo del tubo electrónico? Precisamente él facilitó la creación de generadores y amplificadores, ventiladores y modulada res de radioseñales, es decir, todas las variedades de receptores, transmisores y esquemas de medición, que en la actualidad existen.



El tríodo semiconductor permite amplificar las señales no peor que el tríodo de tubo. Y por cuanto en su característica también existen panes curvilíneas, él permite realizar con la señal una multitud de operaciones, las cuales nosotros ya examinamos, al estudiar el amplio campo, denominado "El reino de los espejos oblicuos".

Proyecto de un “cerebro” electrónico

El campo de aplicación de los semiconductores en la actualidad es tan amplio, que incluso una sencilla enumeración ocuparía muchas páginas. En el capítulo anterior se describieron solamente algunos ejemplos, por los cuales se puede juzgar sobre las diversas aplicaciones y propiedades que poseen los semiconductores. Pero el lector tiene el derecho de preguntar: ¿por que fue examinado el problema de los aparatos semiconductores en el capítulo “Elementos de las máquinas “inteligentes"?

Esta cuestión tiene su conformidad. Los semiconductores son necesarios no solamente para las máquinas calculadoras electrónicas. Los especialistas de diversas ramas, desde los cirujanos hasta los metalúrgicos se interesan por los semiconductores. Y no solo los especialistas. Los semiconductores son necesarios para todos. Incluso aquellos, que tienen en su casa un receptor de tubo electrónico, quisieran, además, tener a su disposición un pequeño receptor portátil del tamaño de una pitillera.

No merece discusión, este receptor es muy cómodo. Pero cuando se trata de máquinas electrónicas o automáticas, entonces, sus dimensiones y peso, ya no es una cuestión de comodidad, sino una cuestión de suma importancia para las máquinas. Precisamente, las dimensiones exteriores determinan, en ciertas ocasiones, el futuro de una máquina.

Es muy necesaria, por ejemplo, la máquina para la conducción de aviones: pues las velocidades adquirieron tales magnitudes, que al piloto a veces no le da tiempo de tomar las necesarias decisiones, sin las cuales no se puede conducir un avión. La máquina "reflexiona" mucho más rápido. Pero la desgracia consiste en que ella "reflexiona" solamente al margen del programa planificado en la máquina. Las condiciones de vuelo son tan variables y abundantes que ningún programa puede ser calculado y prevenido anticipadamente. Aquí es donde la máquina se rinde ante el piloto. Para aumentar sus posibilidades y aproximar las al arte del piloto-hombre, se necesitan esquemas muy complicados, una enorme “memoria" de la máquina, una capacidad para acumular experiencia, para hacerse más calificada e “inteligente". Si todas estas exigencias se juntan en una estructura concreta, esta máquina resultará tan voluminosa, que ningún avión podría despegarla de la tierra.

Aquí chocan dos exigencias, que contradicen una a la otra: por un lado, la máquina debe ser lo suficientemente compacta, y por otro, lo suficientemente "inteligente".

Para que esta contradicción se haga evidente, imagínense que aparece un constructor, que se plantea come objetivo la construcción de una máquina, tan perfecta come el cerebro humane. Ante el se presenta un mar infinito de preguntas. ¿Cuáles células tomar de base? ¿Cuáles de ellas para construir esquemas? ¿Con cuál prefijar el programa?

Pero, antes de profundizarse en la base de estas preguntas, el constructor, evidentemente, deseará imaginarse, en general el aspecto de este "cerebro".

De acuerdo con los últimos dates científicos, la corteza cerebral contiene 10^{10} células (neuronas). Es posible que esta cifra sea muy superior. 10^{10} es una cifra más bien aproximada ya que nadie se propuso contar las neuronas.

Pero supongamos que sean solo 10^{10} células. ¿Qué aspecto tendría un "cerebro", en el que en lugar de 10^{10} células haya, digamos, 10^{10} triggers?

Si el constructor se basa en los tubos y elementos habituales, entonces, por muy exitosa que sea la construcción, no seria posible distribuir más de cinco piezas en cada decímetro cúbico de volumen.

Coda trigger contiene cerca de 10 piezas; en 10^{10} triggers estas serán 10^{11}. Es decir, el volumen de ese equipo será:

$$10^{11} / 5 \text{ dm}^3 = 2 \times 10^{10} \text{ dm}^3 = 20 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Este volumen se puede, evidentemente, imaginar coma un gigantesco estuche de 2 kilómetros de largo por 100 metros de alto y ancho. ¡Sólida construcción! ¿Y pueden imaginarse, qué fuente de energía se necesitaría para alimentar 10^{10} triggers? Pero, ¿podría trabajar este fantástico equipo, igual que un cerebro verdadero? En absoluto.

En primer lugar, las cuestiones de la seguridad. Si suponemos que cada trigger queda fuera de servicio al transcurrir los cinco años, esto significa que en este gigantesco sistema, durante cada segundo quedaran fuera de servicio, como promedio, alrededor de 60 triggers.

Y debido a que los esquemas electrónicos están construidos, de modo que cada fallo, de uno de sus elementos, interrumpe el trabajo de todo el esquema; el "cerebro" se encontrara constantemente deteriorado: en lugar de trabajo, reparación constante.

Pero supongamos que por cualquier oportuna casualidad el fantástico "cerebro" se encuentre en buen estado y trabaje durante 5-10 minutos. ¿Resultaría él lo suficiente "inteligente" aunque fuese en estos cortos minutos? Por supuesto que no. Es que las posibilidades del cerebro verdadero no se determinan solamente por la cantidad de células. Lo principal es la acción conjunta. Si se pudiera incluso construir un sistema de 10^{10} triggers, nadie hasta ahora tiene nociones sobre por cual tipo de esquema deberían ser unidos. Viene a propósito señalar, que los triggers no sustituyen por completo a las neuronas. Su parecido consiste en que, tanto las neuronas como el trigger, pueden tenor dos estados designadas mediante "1" y "0" (véase § 5.5-§ 5.6). Pero si el trigger, ante todos los impulsos que llegan reacciona de la misma forma, la neurona los distingue por su intensidad y su frecuencia. El trigger tiene solamente una entrada y la neurona esta unida con muchas células, y su respuesta depende de la combinación de los impulsos y de donde ellos llegaron. Al crear el esquema de la neurona, no podemos pasar solo con el trigger: el esquema de la neurona artificial es mucho más complicado.

Es poco probable que alguno de los constructores contemporáneos se arriesgara a crear un "cerebro" electrónico completo.

Pero fueron muchos los que desearon "construir" la célula fundamental del cerebro, la neurona. Ya se han elaborado más de cien tipos de esquemas, que trabajan de forma semejante a la neurona. Decimos "semejante" porque las propiedades de las neuronas vivas aún no se han estudiado hasta el fin.

Las neuronas artificiales se denominan neuritas, neuristoras ó artronas. Todas ellas son mucho más complicadas que el trigger; el número de elementos en el esquema de la neurita es superior al número de elementos en el trigger, aproximadamente en 10 veces.

Si alguien hubiese querido construir un cerebro artificial de 10^{10} neuristoras o artronas, entonces se obtendría un "estuche", aún 10 veces mayor. El problema, a primera vista, resulta utópico. No obstante, no podemos apresurarnos en sacar

conclusiones. Es que nosotros no tuvimos en cuenta las posibilidades de la electrónica de futuro. Además: todos los razonamientos fueron expuestos en general al nivel del pasado.

¿Para que construir cerebros artificiales con tubos, si existen los semiconductores? Además, es necesario tener en cuenta que la aparición de los aparatos semiconductores obliga a los especialistas a examinar la construcción de todos los elementos y bloques, a construirlos inicialmente en miniatura y luego incluso en microminiatura, disminuyendo las dimensiones en varios cientos de miles de veces.

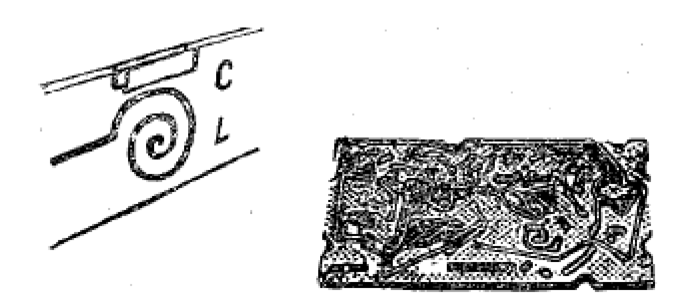
Así se logran miniaturas

§ 5.49

En comparación con el tubo, la bobina, el condensador y la resistencia siempre nos parecieron pequeñísimos. Pero para los aparatos semiconductores, los elementos de la antigua construcción son excesivamente grandes.

§ 5.50

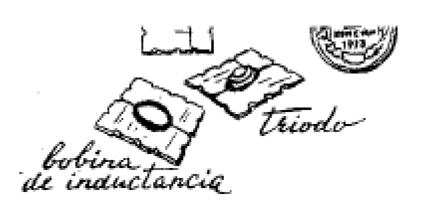
Junto con los semiconductores en la construcción de aparatos electrónicos se han introducido los circuitos impresos. Sobre una placa aislante (lámina) se separa un lugar para los triodos y diodos semiconductores y, posteriormente, mediante el método impreso se diseñan las resistencias, las capacidades, la inductividad y los conductores de conexión.



Para crear la capacidad, es suficiente diseñar dos revestimientos a ambos lados de la placa. La espiral, diseñada en la placa, sustituye a la bobina. Mediante líneas finas en forma de zigzag se crean las resistencias de la magnitud necesaria.

§ 5.51

Tratando de disminuir el volumen de los aparatos electrónicos, los constructores llegaron a la conclusión que en los aparatos queda macho espacio libre, dado que todas las piezas (tubos, bobinas, resistencias) son de diferentes formas. Entonces surgió la idea de su unificación. Sobre placas cuadradas de idénticas dimensiones se colocan los diodos, triodos, capacidades, resistencias: en cada placa un elemento.



§ 5.52

Las placas se disponen una sobre la otra obteniendo algo similar a un estante: en los anaqueles descansan los elementos y, por los listones circula la corriente.

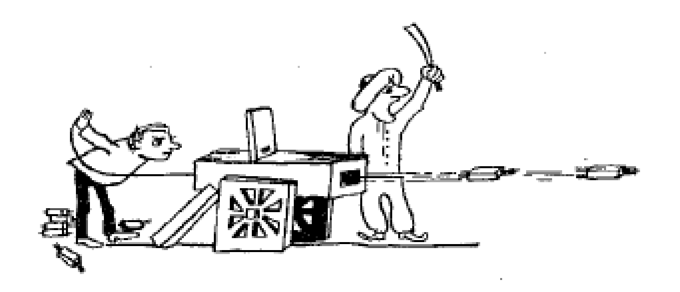
Durante la construcción de este bloque es muy importante no confundir los anaqueles y los listones: por ejemplo, el listón intermedio de la derecha debe unir el condensador, que descansa en el anaquel superior, con el colector del tríodo, que se encuentra varios anaqueles más abajo.

§ 5. 53

Cuando se ha montado todo el circuito, se recubre de una composición especial, y el "estante" se transforma en un bloque de micro-módulo monolítico y diminuto.

§ 5.54

El volumen de los aparatos electrónicos do micromódulos es aproximadamente 2 mil veces menor que el volumen de los aparatos de tubos.



Además los aparatos de bloques de micro módulos se diferencian por su singular solidez. Si en receptor de tubos queda fuera de servicio por culpa de golpes y sacudidas, los aparatos de micro módulos son capaces de resistir incluso golpes fuertes.

Para comprobar la resistencia de dicho bloques se les dispara con un año en especial. Si después de semejante "sacudidas" el bloque sigue trabajando significa que su resistencia es lo suficientemente elevada.

§ 5.55

El siguiente Paso en la miniaturización de los aparatos electrónicos radica en las films películas.

Sobre una lámina de aislador se coloca una película de metal o de semiconductor. El grosor de osta película es ínfimo: a veces se hace igual al tamaño de las moléculas, colocadas en una capa regular.

La película fina de metal posee una gran resistencia. Gracias a esto, se logran colocar millones de ohmios a lo largo de un milímetro de longitud.



El condensador de película es semejante a un bocadillo de tres capas: la película de metal, la película de aislador (dieléctrico) y encima de nuevo metal. Gracias a la

finura del dieléctrico se logra crear una capacidad muy elevada, manteniendo pequeñas las dimensiones de las placas (comparado con el dibujo § 3.21).

Los triodos resultan también ser de tres capas: la capa de p-conductibilidad, después la capa de n-conductibilidad y, luego de nuevo la capa de p-conductibilidad. ¡Las dimensiones de estos triodos son tan pequeñas, que sobre un sello postal podrían disponerse hasta 20.000 unidades!

Es aquí una magnífica ilustración de los éxitos logrados en los últimos años por "la electrónica microscópica", pues 20,000 tubos al vacío ocuparían un vagón completo.

§ 5. 56

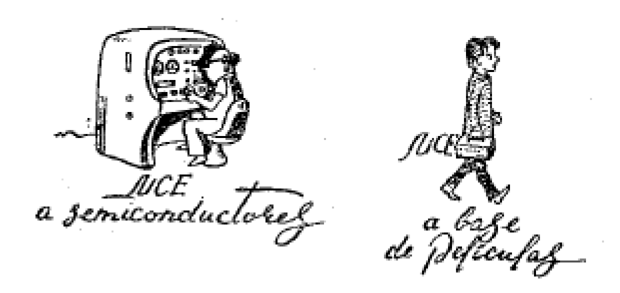
El ritmo del desarrollo y la introducción de la electrónica súper miniatura son de verdad grandiosos. La existencia de la técnica calculadora electrónica abarca en total dos decenios. ¡Y en este tiempo tan breve ya salieron a la luz cuatro generaciones de máquinas electrónicas!



La última palabra en el problema de la creación de aparatos electrónicos súper miniaturas consiste en los esquemas sólidos.

Tomando como base un trozo de cerámica o un cristal semiconductor, los creadores de los esquemas sólidos, los someten a un tratamiento tecnológico con la ayuda de medios físicos y químicos.

Toda la superficie del material se cubre con un “dibujo" finísimo. En unos lugares el se somete a un ataque químico y a oxidación en otros, a una difusión y precipitación de las películas, en otros a un tratamiento térmico y en otros a la acción de los campos eléctricos o magnéticos.



Como resultado de este tratamiento, en la superficie se forma una complicada red de micro celdas, cada una de las cuales posee un completo determinado de propiedades eléctricas y magnéticas. Posteriormente la superficie tratada se cubre con una película de vidrio y el trozo de material se transforma en un esquema sólido. La acción de cada una de las micro celdas creadas es semejante al trabajo de un esquema, compuesto de muchos triodos, diodos, resistencias, inductancias y capacidades.



Los esquemas solidez se caracterizan por su solidez y fiabilidad, insignificante consumo de energía y su volumen excepcionalmente pequeño: ¡el bloque electrónico, que cumple todo un conjunto de operaciones de cálculo y lógicas, puede pasar a través del ojo de una aguja de la máquina de coser!

Verdaderamente, el arte de los creadores de los esquemas sólidos se aproxima a la perfección de la naturaleza: en un trozo de material sumamente pequeño suceden procesos complejos relacionados y orientados hacia un objetivo, transcurre una original "vida electrónica".

§ 5.57

El “cerebro” artificial en los bloques de micromódulos resultaría 2000 veces más pequeño que de los de tubos. Pero a pesar de todo, el sistema de 1010 “neuronas” electrónicas con una altura de 10 metros, tendría un ancho y un largo de 100 metros y ocuparía un barrio entero.

El esquema del “cerebro” de películas finas ocupara un volumen 100 veces menor y se convertirá en un cubo de 10 metros de arista.

Aun resultaría más pequeño el “cerebro” basado en los esquemas sólidos. Pero con esto no se logra aún la perfección de la naturaleza. No obstante, ciertas funciones del cerebro pueden ahora reproducirse más completamente, que en los años pasados.

Medios de los “organismos vivos”

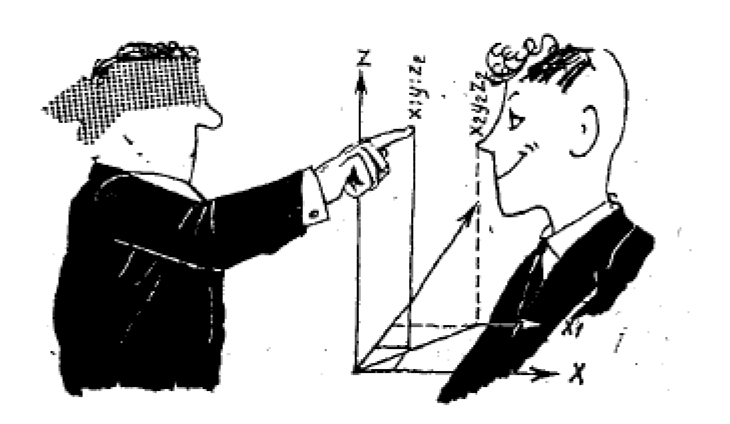
En los últimos años la electrónica ha creado una multitud de modelos de todo género (Véase § 5.17). Se modelaron los regímenes de fundición de los metales y los ciclos de su tratamiento mecánico, las trayectorias de los proyectiles, cohetes y

aviones, los procesos físicos y químicos, el trasporte con diferentes medios, las operaciones financieras y la marcha del cumplimiento de los planes de la producción.

Pero los más complicados fueron, y lo siguen siendo, los procesos que transcurren en el organismo vivo. Comencemos con un ejemplo sencillo.

¿No tuvieron en algún caso que buscar en la oscuridad su propia nariz? ¿Les fue fácil palpar su punta con la puntita del dedo? Es evidente que les seria fácil. Pero, prueben encontrar en la oscuridad la puntita de una nariz ajena. Ahora no les será tan fácil encontrarla, tendrán que rebuscar con las manos, hasta que casualmente tropiecen con ella. ¿Y si el propietario de la nariz comenzase a mover la cabeza? De nuevo comenzaríamos a buscar al azar. En cambio su propia nariz en la oscuridad nunca se perderá y en cualquier momento la puede tocar sin equivocación. ¿Porqué?

Porque al cerebro llegan las señales de los músculos de la cara y de la mano. El cerebro compara sus posiciones y encuentra la señal de equivocación o, como dicen los matemáticos, la diferencia de coordenadas. En cualquier momento el cerebro puede enviar al órgano ejecutivo (la mano) una orden de reducir la señal de equivocación a cero.



Ese mismo régimen de seguimiento puede realizarse respecto a objetos ajenos (incluso a la nariz de otro), con la condición que estos objetos estén alumbrados. El cerebro recibe señales de nuestros ojos, las cuales fijan la posición de estos objetos y de nuestras manos. Pero en la oscuridad no hay seguimiento. Este necesita tener

una comunicación directa y otra inversa. Por la comunicación directa se envían las órdenes del cerebro a los músculos, y por la inversa las señales, que indican el grado de proximidad del objeto.

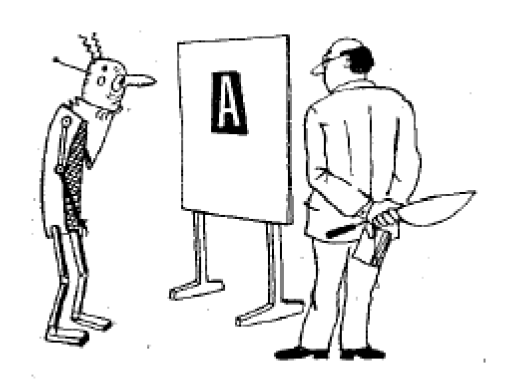
El esquema de enlaces en un organismo vivo es muy parecido al esquema de cualquier autómata observador. En los dos casos el sistema tiene su objeto de regulación, el órgano ejecutivo, las señales de equivocación y el enlace directo' e inverso.

Con esto, precisamente, comenzó la cibernética: se encontraron los principios comunes de dirección, los cuales utilizan tanto el organismo vivo como las máquinas automáticas. No obstante, además de la semejanza, existen diferencias, muchas de las cuales no se han aclarado hasta hoy día.

La modelación del trabajo de los músculos se asimilo con suficiente exactitud. Se logro incluso construir una mano automática, la cual, recibiendo bioseñales amplificadas de los músculos de la mano del hombre, repite exactamente todos sus movimientos.

La modelación de un cerebro es bastante más complicada. Pero a pesar de todo se lograron obtener ciertos éxitos. Tengamos en cuenta que hasta ahora tratamos solamente sobre la modelación de algunas funciones. No obstante, aquí surgieron bastantes dificultades. No es de extrañar: pues el cerebro es el sistema más complicado en el mundo, y a disposición de los ingenieros no hay ni guías, ni esquemas. Ellos no tienen siquiera la posibilidad de observar el cerebro en el proceso de su accionamiento y se conforman solamente con conjeturas, verificándolas en modelos electrónicos. Pero, inclusive esta vía indirecta trajo los frutos suficientes.

Como el ejemplo más brillante pudiera servir, tal vez, la máquina identificadora de la imagen visual, la cual se denomina percepción. El modelo del ojo, creado para esta máquina, consta de cientos de fotoelementos. Su cerebro artificial lo constituyen miles de “neuronas" electrónicas, unidas en un circuito complejo.



El proceso de enseñanza a la percepción recuerda el proceso de amaestramiento de animales. A la máquina se le muestra una letra, la cual deberá ser diferenciada de las demás. Si la máquina la "reconoce" se envía al "cerebro" una "señal de estímulo”, la cual Ware, el enlace surgido entre las neuronas. El adiestrador habitualmente entrega, en tales cases, la golosina más preferida. Por el contrario, si la máquina confunde la letra dada con otra se le enviara la "señal de castigo" (sustituto del látigo). “Mirando" la letra 10-15 veces, la máquina comienza a "reconocerla". Además, la máquina diferencia la letra, incluso en el caso, cuando esta sea de diferentes dimensiones y se haya empleado otro tipo de letra.

Una percepción fue construida en Kiev, otro en la universidad de Kornelsson (EEUU). El perceptrón norteamericano fue fabricado por encargo del departamento militar. Él "reconoce" no solo las letras impresas, sino que además se le enseñe, mirando las fotografías sacadas a vuelo, a "reconocer" un hangar o un avión situado en la tierra.

La naturaleza lo conoció hace tiempo

Indudablemente que en el campo de la modelación de determinados procesos de los organismos vivos, la electrónica ha obtenido significativos éxitos. Pero, muchas cosas todavía quedaron sin aclarar. Queda mucho por estudiar y crear.

Y he aquí que en el empalme de dos ciencias, que al parecer son completamente diferentes (la biología y la electrónica), surge una nueva rama, llamada biónica. Resulto, que la biología y la electrónica tienen intereses comunes estas dos ciencias pueden en muchos de los casos, ayudarse mutuamente.

Como siempre sucede, todo se inició desde lo poco. Hace tiempo se ha observado que los machos de ciertos insectos se alejan de las hembras a muchos kilómetros, y después vuelven donde ellas sin equivocación alguna.

El entomólogo francés Fabre declare su suposición de, que entre el macho y la hembra existe radiocomunicación. Para comprobar esta hipótesis metió en una fiambrera a una hembra de mariposa nocturna y al poco tiempo, desde diferentes puntos llegaron volando hacia ella sesenta machos. Los machos fueron atrapados, y después de marcarles un signo se pusieron en libertad, en diferentes direcciones, a muchos kilómetros de distancias. Transcurridos 40 minutos, los machos con los signos marcados regresaron nuevamente a donde la hembra.

Suponiendo que, la comunicación se realiza en la gama infrarroja de frecuencias el científico metió la hembra en un vaso de vidrio que no dejaba pasar los rayos infrarrojos. La suposición se confirmo: dos fieles caballeros" ya no; volaban hacia la señal de llamada.

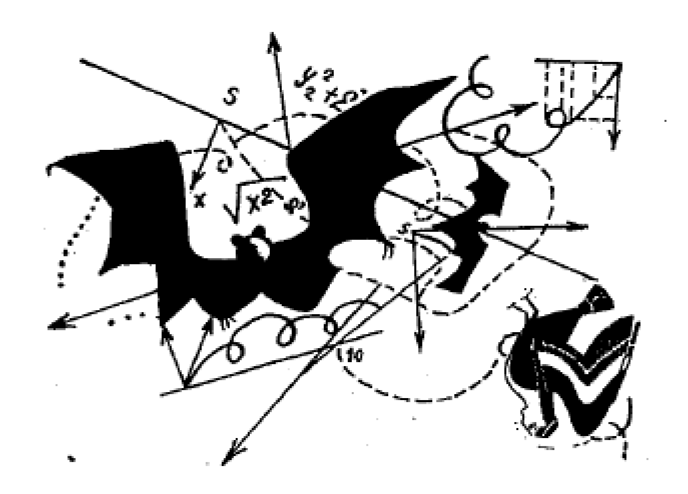
Posteriormente se llega a suponer, que coma antena captadora de las ondas infrarrojas, sirven las antenas de los insectos. Y efectivamente, los muchos privados de ellas, tampoco podían descubrir a su compañera de seis patas.

Al principio estos descubrimientos provocaron muchas dudas. Se hacía difícil alistar sea la idea, que la radio, que se cataloga come uno de los meritos más singulares del siglo XX, fue "inventado" por la naturaleza millones de siglos atrás. ¿Puede ser que la prioridad de todas las invenciones relacionadas con la radio pertenezca solamente a la naturaleza?

Pero los hechos se acumulaban progresivamente, y al fin y al cabo, el hombre comprendió, que la naturaleza logro aquí una perfección tan alta, que la calidad de los “aparatos” creados por ella se mantienen insuperables hasta nuestros días.

Actualmente ya están bien estudiadas a fondo las características de muchos “aparatos” semejantes. Así, por ejemplo, se sabe que, la naturaleza dotó a los murciélagos de un localizador singular, que funciona en la gama ultrasónica. Él irradia una serie de impulsos, cuya prolongación supone milésimas de segundo. Pero la frecuencia portadora varía en el transcurso del impulse, de 45 a 90 kilohertzios. Esto significa, que la naturaleza emplea en este case la modulación de frecuencia. Los impulsos siguen unos tras otros con una frecuencia de 10 a 12

hertzios; pero cuando el murciélago se acerca a un obstáculo, la frecuencia de sucesión de los impulsos se eleva hasta 250 hertzios.



Y las polillas, que sirven de alimento para los murciélagos, tienen los oídos parecidos a pequeños micrófonos. En la gama de su "sintonización" precisamente caben todas las frecuencias, y retiradas por el "localizador" del murciélago: los científicos determinaron, que los oídos de la polilla perciben las señales desde 10 hasta 100 kilohertzios.

Se logro incluso conectar este “aparato” microminiatura a un amplificador. Como resultado fue creado un magnífico receptor para manifestar las señales de los murciélagos:

Tal abundancia de cifras en el relato sobre los murciélagos y las polillas, por falta de costumbre, se nos hace extraño. Da la sensación que no tratamos de organismo vivos, sine de ciertos medios técnicos, creados por las manos del hombre.

¡Qué hacer! Los últimos logros de la biónica nos convencen cada vez más de que, para el estudio de muchos problemas de la biología, se necesita un enfoque especialmente de ingeniería.

Aquellos, que hayan observado el vuelo del murciélago; seguramente habrán prestado atención en su complicada trayectoria. El murciélago se precipita de un lado a otro, al parecer, absolutamente sin fin alguno. En realidad, cada uno de sus movimientos esta calculado con asombrosa exactitud. Atrapando a vuelo un insecto, el inmediatamente cambia su curso en persecución de otra nueva víctima, que cayó

en el campo de visibilidad de su localizadora. Los científicos calcularon, que el murciélago aniquila, en promedio un mosquito cada 6 segundos.

El perfecto "localizador", con que la naturaleza doto al murciélago, le permite mantener bajo un control constante el espacio que le rodea. Este garantiza una efectiva persecución de los insectos y la seguridad del vuelo impetuoso: el murciélago oportunamente distingue y esquiva los obstáculos que se presentan en su camino.

Por el tipo de trabajo el "localizador" del murciélago es muy parecido a los localizadores de los aeródromos, destinados al reconocimiento del espacio durante el aterrizaje A y despegue de los aviones. Pero entre ellos existe una diferencia muy sustancial: el peso del "localizador" de un aeródromo se calcula en toneladas, y el del murciélago es de 0,1 gramo.

¡Esto si que es miniatura! Y es necesario señalar en base: a esto, que muchas de las calidades de los "localizadores" miniaturas, creados por la naturaleza se mantienen hasta ahora, como un enigma.

Es difícil aclarar, por ejemplo, la forma en que el murciélago distingue su señal reflejada, de las señales de sus "paisanos" o de las perturbaciones especiales creadas durante la ejecución de experimentos. Cuando se encuentre la respuesta a estos problemas, evidentemente, se lograran mejoras esenciales en todos los medios, utilizados en la localización actual.

A propósito, este ejemplo, no es el unto. El "hidrolocalizador" de los delfines o de los conejillos de Indias supera considerablemente por su exactitud, distancia y capacidad detectiva, de obstáculos muy pequeños, a los medios que se utilizan en la flota submarina contemporánea.

Los electrones se alargan la vida

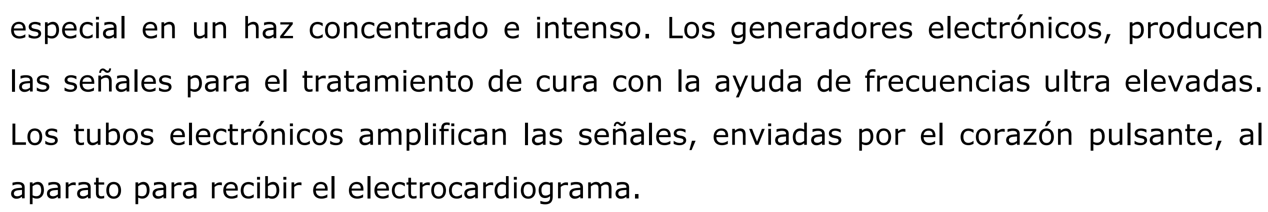
§ 5.58

La palabra "biónica" proviene de la unión de dos palabras, "biología" y "electrónica". Además de la biónica existe también la electrónica biológica, la cual, aunque se parece a la biónica por el nombre, posee su propia esfera de problemas.

La biónica estudia y modela los procesos propios de los organismos vivos. Y la electrónica biológica crea los aparatos que ayudan a estudiar el organismo. Estos aparatos encuentran aplicación en la medicina.

§ 5. 59

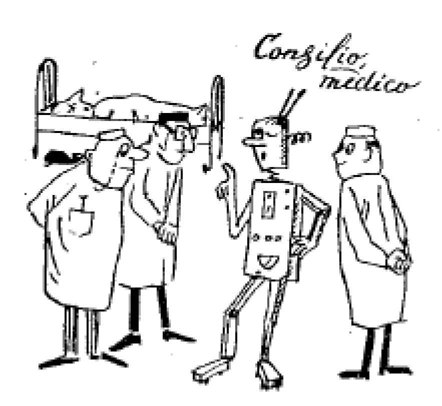
La medicina contemporánea y la electrónica están enlazadas íntimamente. Supongamos, por ejemplo, un policlínico sin aparatos de rayos X, que permiten observar el interior del organismo, sin los electrocardiógrafos, que diseñan los ritmos de funcionamiento del corazón, sin los métodos de curación de las enfermedades con la ayuda de las frecuencias ultra elevadas. Separando todo esto de la medicina ya no se podría calificarla, con franqueza, como moderna.



Todos estos medios la medicina los recibe de la electrónica. Los rayos X, que penetran en las profundidades de los tejidos vivos, se formaron con la ayuda de los electrones, dirigidos hacia un espejo especial en un haz concentrado e intenso. Los generadores electrónicos, producen las señales para el tratamiento de cura con la ayuda de frecuencias ultra elevadas. Los tubos electrónicos amplifican las señales, enviadas por el corazón pulsante, al aparato para recibir el electrocardiograma.

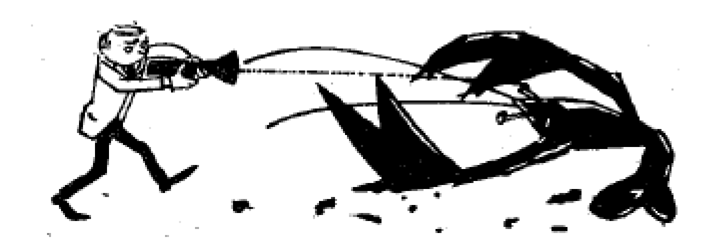
§ 5.60

Todo lo mejor que crea la electrónica, ésta se lo entrega a la medicina para la prolongación de la vida y la protección de la salud de los seres humanos. En cuanto aparecieron al mundo las máquinas electrónicas, ya aquí encontraron su aplicación: comparando los múltiples síntomas, ellas momentáneamente y con exactitud, establecen el diagnóstico, debido a que en la memoria de un "cerebro" electrónico se guarda la experiencia de muchos médicos.



§ 5.61

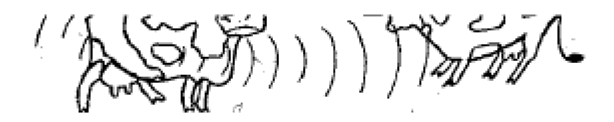
La técnica aún no ha investigado todas las posibilidades que poseen los láseres, sin embargo la medicina ya comenzó en la actualidad a aplicarlos. Sobre su trabajo en la cirugía ya hicimos comentarios. Con la ayuda de esos mismos rayos se intentó combatir la plaga más terrible de la humanidad, poner fin al pérfido y despiadado cáncer.



Un grupo de cirujanos de Boston, encabezados por el Dr. Macgraff, curaron con la ayuda de la irradiación del láser, hasta un 50% de los monos experimentales contaminados de cáncer. Se puede esperar, que al hombre enfermo de cáncer, le serán también útiles estos rayos.

§ 5.62

Muy valiosos para la medicina resultaron los transistores, porque para una serie de investigaciones, el aparato debe ser de pequeñas dimensiones. Sobre la base de los transistores se logró crear el original “transmisor-píldora". El enfermo traga dicha “píldora" y al llegar al estómago, comunica el estado en que esto se encuentra. Esos mismos: aparatos resultaron útiles en la cría de animales.



Por los pastizales de Polonia deambulan las vacas, y en el estómago de cada una de ellas existe un aparato semejante. Recogiendo sus señales, los científicos polacos observan el proceso de asimilación del alimento, con el fin de hallar para estas la ración alimenticia más efectiva.

§ 5.63

En América del Norte sucedió hace poco un case muy curioso Dos pacientes se dirigieron a los médicos con una queja muy extraordinaria: a ambos les perseguía una voz, la cual todo el tiempo les proponía comprar algo; esa voz una vez popularizaba el jabón, otra, un refrigerador, y así día tras día.

Los médicos psiquiatras no encontraron ninguna violación psíquica. La medicina se perdía en conjeturas. Y por casualidad fue descubierto un detalle de alta consideración. Resultó, que a ambos "enfermos" les habían puesto coronas en los dientes, cuyo trabajo fue elaborado por un mismo dentista.

El material con que él cementó estas coronas, poseía propiedades semiconductoras. En la corona se forme un receptor de cristal en miniatura, casualmente sintonizado en la onda de una radiotransmisión comercial. La señal detectada a través de los nervios de los dientes se transmitía directamente al cerebro.

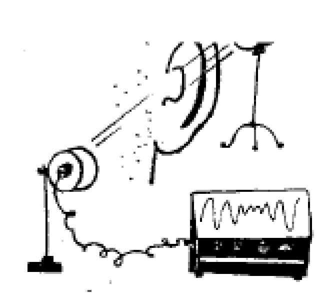
Posiblemente, que en el tiempo se logre utilizar especialmente este método de radiocomunicación. Muchos de los pacientes, probablemente, no estarán en contra de tener un receptor en la corona del diente, si, claro esta, teniendo en cuenta esta amarga experiencia, hallan el método de su desconexión.

§ 5. 64

Es interesante la estructura del aparato, que controla el régimen de respiración durante la operación de un enfermo. El régimen normal de respiración garantiza un

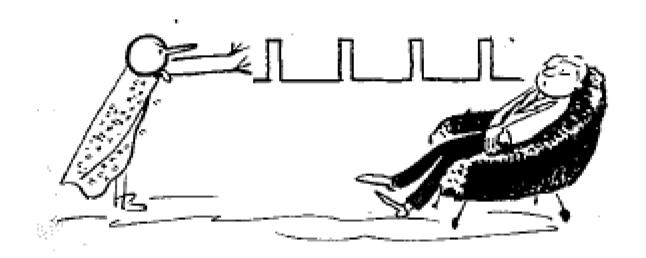
contenido determinado de oxigeno la sangre. En dependencia del oxigeno varía la transparencia de la sangre.

Basta con dirigir la luz nacía el pabellón de la oreja del enfermo, colocando por el otro lado un fotodiodo (véase § 5.44), y se resuelve un problema de gran importancia: durante toda la marcha de la operación se puede controlar el contenido de la sangre, es decir controlar la respiración del enfermo.



§ 5. 65

Los impulsos de corriente pueden originar en el hombre una reacción singular: por su influencia del hombre se duerme profundamente.

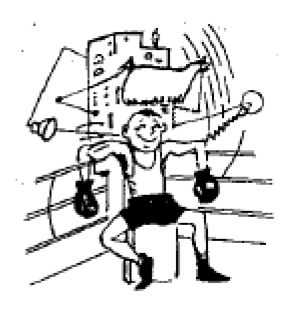


La causa de ésta reacción no está suficientemente clara, pero en lo que se refiere a sus resultados, estos son palpables. Un generador de impulsos especial sirve como un medio excelente para el tratamiento de las enfermedades de los nervios.

§ 5. 66

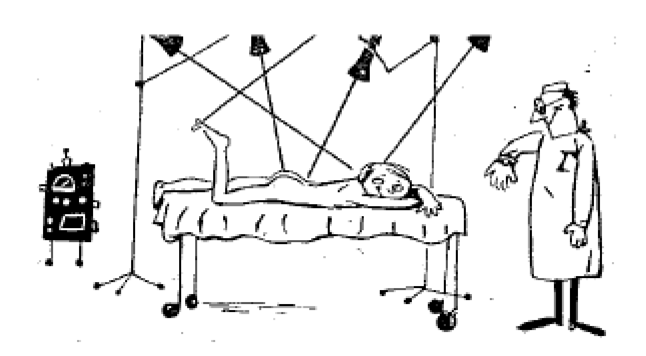
No obstante, con otras frecuencias y amplitud de los impulsos se convierten en una fuente de vigor y ánimo.

Con su ayuda se pueden entrenar los músculos lesionados, eliminar los efectos de la parálisis. Esto se hace por medio de electro masajes, en los cuales participan también los estimuladores electrónicos que son las fuentes de impulsos de determinadas frecuencias



§ 5. 67

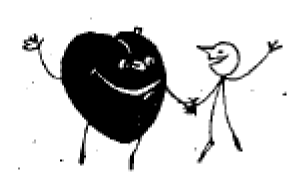
Se está investigando el problema, relacionado con la aplicación de los impulsos eléctricos para la curación por el método punzante con agujas, aunque el nombre de este método es simplemente figurativo.



Pierde su valor la necesidad de la aguja: el impulso eléctrico penetra dentro de los tejidos vivos y excita determinados centres nerviosos no porque la aguja más fina.

§ 5. 68

Para la medicina hace tiempo es conocida la enfermedad del corazón denominada "enfermedad azul". Si el ritmo del corazón baja hasta 10-20 latidos por minuto, al enfermo le amenaza la muerte.



Para luchar contra esta enfermedad los médicos de la clínica del 2º Instituto de Moscú decidieron utilizar los estimuladores electrónicos, para lo cual pidieron ayuda a la oficina de proyectos sociales. Los estimuladores electrónicos del corazón eran conocidos desde antes, pero los generadores de impulsos siempre se encontraban fuera del cuerpo, y, en el corazón se introducían electrodos especiales. Este método era incómodo e incluso peligroso: a través de los orificios, para los electrodos, podían penetrar microbios dentro del organismo. La colaboración creadora de los médicos e ingenieros permitió crear un estimulador semiconductor implantado (es decir, vivificado). Su peso es de 125 gramos y consume tan poca energía, que una pequeña batería basta para un trabajo continuo dos años y medio.

¿Quién a quién?

Posiblemente, sigue el momento en que la estructura de uno otro "aparato vivo" sea minuciosamente conocida y al ingeniero solo le restará crear una copia de él, para utilizarlo con vistas a las necesidades técnicas. Pero, mientras, estos problemas se resuelven de otra forma. No fue el murciélago quien cree el radar; el radar fue creado por los ingenieros. Y los medios y métodos que surgieron en la técnica de la localización prestaron ayuda al estudio del murciélago.

Sin embargo, hoy ya es posible intentar obrar a la inversa.

La biónica permite "tomar lecciones de la naturaleza”.



La técnica aprende del girasol a seguir el movimiento del sol; de los peces y los perros ella toma la capacidad de detectar olores apenas perceptibles; las ballenas y delfines sirven como ejemplo de las proporciones y formas Optimas para la natación rápida, y la cigüeña da pábulo a la reflexión sobre que factores garantizaran a los aparatos volantes un vuelo más económico.

La naturaleza tiene muchos otros "aparatos" perfectos con los que la técnica por ahora solo puede sonar. En la serpiente de cascabel se ha descubierto un receptor "sintonizado” en ondas infrarrojas. Este receptor es, tan perfecto que percibe una diferencia de temperaturas de milésimas de grade. Ningún objeto vivo que irradie calor al espacio circundante puede escaparse de dicho receptor.

Los ojos de la rana y del cangrejo-herradura poseen la capacidad de aumentar el contraste del contorno de uno de los objetos en el fondo de todos los restantes. ¡Una cualidad maravillosa! Un aparato provisto de esta capacidad podría realizar un análisis detallado de las radiografías o de una fotografía aérea realizada desde gran altura.

¿Y, se orienta la paloma? ¿Por qué esa siempre encuentra el camino de regreso a casa? Aún en el caso de ser llevada a un centro oscuro, ella igualmente regresará sin equivocarse.

Existen diferentes conjeturas. Unos afirman que ella recibe los rayos del sol y se orienta por él. Otros consideran que en su cabeza existe un “aparato" especial que reacciona a la rotación de la Tierra. Otros plantean la hipótesis que la orientación de la paloma se explica por la percepción del Campo magnético de la Tierra. La cuestión se está estudiando. De nuevo, claro esta, con la ayuda de la electrónica. A la paloma se le provee de un radiotransmisor miniatura cuyas señales permiten seguir todo el vuelo.

No peor que la paloma se orientan las tortugas de mar. Ellas nadan hasta varios miles de kilómetros y después retornan hasta el Lugar determinado para poner los huevos.

Existe una propiedad común en los organismos vivos a la que la técnica debe envidiar más que a todas las restantes: Esta es capacidad de adaptarse a las más variadas yen algunos cases inesperadas situaciones, la capacidad de orientación en el medio ambiente, de cooperación con el medio.

En este sentido, el más complejo de los autómatas es mucho más primitivo que el organismo más sencillo. Esta propiedad es sumamente necesaria. Sin ella no se puede crear un aparato electrónico, que pueda conducir los coches por las calles de la ciudad, resolver los problemas más complejos de la producción realizar un experimento científico. En todos estos casos pueden surgir complicaciones imprevisibles. El organismo vivo casi siempre encontrara salida. Pero los autómatas son aún bastante unilaterales: basta con que solo uno de los factores no haya sido introducido en su programa, para que el progreso de dirección se reduzca a cero.

A resolver estos problemas ayudara también la biónica: Ante todo, es necesario aclarar cómo lo resuelve el organismo vivo.

La biónica es una ciencia joven. Ella no tiene todavía métodos universales únicos. Aún no se ha escrito ni libros de texto especiales sobre la biónica, ni trabajos capitales completos. Pero existen intereses comunes entre la electrónica y la biología, existen principios no descifrado creado por la naturaleza y ahí un

llamamiento a los físicos, biólogos e ingenieros para aunar sus esfuerzos con vistas a conocerla, comprenderla y aplicarla.

Se puede decir, que el avión y que a como ciencia aún no ha sido creada, ella solamente ha sido proclamada.

El fruto de un siglo (Resumen)

Por fin hemos llegado a la meta. Ahora se puede hacer el resumen de todo aquello que hemos encontrado por el camino.

Queríamos relatar sobre muchas cosas, pero, tuvimos que limitarnos a lo fundamental. Tocar solamente las ideas principales, que surgieron en las distintas etapas de la creación de la electrónica y que sirvieron de jalones esenciales en su glorioso camino. Mostrar como unas mismas ideas pueden utilizarse para objetivos completamente distintos; y lo principal, convenir al lector que sin la electrónica no hay siglo XX, de la misma manera, que no existe la cultura de la antigua Hélade sin sus palacios, templos y grandiosas esculturas.

¡Piense Ud.!: todo el gigantesco edificio de la electrónica fue levantado por la humanidad solamente durante un siglo. Solo hace den altos que Helmholtz manifestó una "porción de electricidad, cuyo portador resultó ser posteriormente el electrón.

Terminado nuestro recorrido, siempre es útil, por última vez, echar una mirada hacia atrás. Con esta mirada se descubrirá el panorama, y, puede ser, que la última impresión sea la más completa.

¿Cómo se vería la electrónica, si al echar una mirada de despedida, se intenta verla toda completa de una sola vez?

En la imaginación se dibuja un árbol gigantesco, cuyas raíces se alejan hacia la profundidad del terreno científico, y sus ramas se extienden hacia todas las ramas de la ciencia.

Así es el aspecto de este poderoso árbol en el momento actual. Pero, ¿qué será de él mañana, dentro de una década, acaso dentro de 20 años? A esta pregunta no se compromete a responder ningún científico. Es poco probable que se atreva a responder un fantaseador. ¿Quién sabe, que nuevas ramas crecerán y que nuevos

frutos engendrara? Pues, en el inicio de nuestro siglo, este árbol dio solamente su primer retoño.

La primera estación de radio creada por Popov, comunicó a Kronstadt con las islas de Gogland en el año 1900. Desde entonces, cada 10 años, nace una nueva rama.

Los diez primeros años de nuestro siglo la radio hace sus iniciales balbuceos para poder hablar. Una década después comienzan las transmisiones lejanas; la comunicación a ondas ultracortas reflejadas por la ionosfera. Por el primer tercio del siglo, se ha dominado la televisión. En la cuarta década, hallamos estaciones de radiolocalización, ondas de hasta

3 centímetros de longitud, equipos extraordinarios: klistrón, magnetrón, tubos de onda móvil.

A mitad del siglo los avances son notables, se señorean las máquinas computadoras y se introducen aparatos semiconductores, y, a dos lustros más tarde, aparecen los generadores cuánticos y en ayuda a la radioemisión surgen los rayos luminosos. Y en el septuagésimo...

¿Qué traerá consigo el próximo decenio? Juzgar al respecto no es sencillo. Pues veinte años atrás nadie pensaba ni en el cerebro electrónico, ni en la creación de las máquinas "inteligentes".

Hasta ahora la electrónica se desarrollo impetuosamente, pero en la segunda mitad del presente siglo, el ritmo del desarrollo crecerá constantemente. No se puede predecir todas las orientaciones de su desarrollo, pero se puede sena lar con absoluta certeza que: cualesquiera quesean las ramas de la técnica que surjan en el futuro, Bien cercano o lejano la electrónica se mantendrá aún por largo tiempo en la línea de vanguardia.